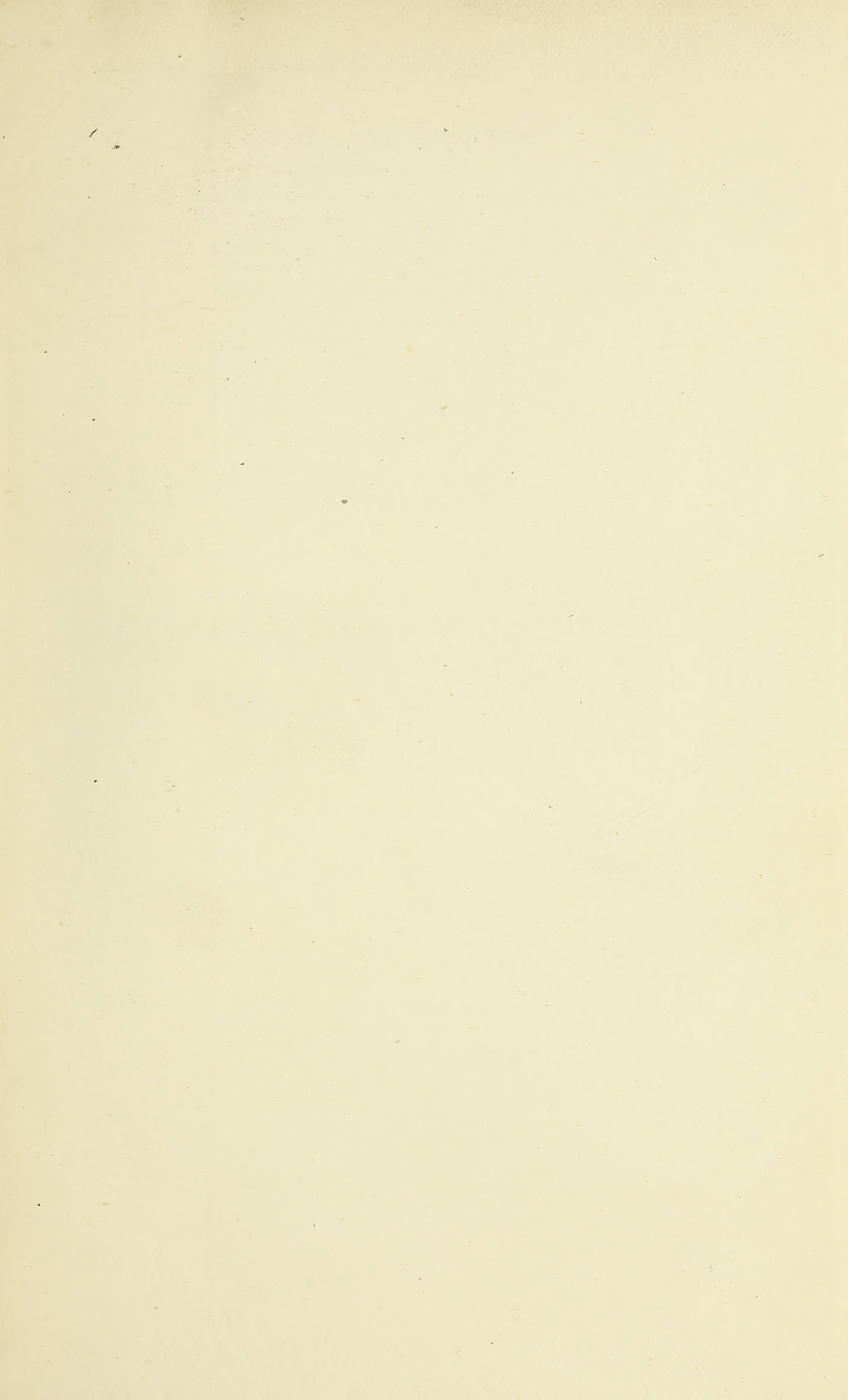






ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

NOTA. — *Tous les ouvrages adressés* franco *à la Rédaction seront annoncés dans le premier fascicule qui paraîtra après leur arrivée. Il sera, en outre, publié s'il y a lieu, une analyse des ouvrages dont la spécialité rentre dans le cadre des* Annales (*chimie, physique, géologie, minéralogie, physiologie végétale et animale, agriculture, sylviculture, technologie, etc.*).

Tout ce qui concerne la rédaction des Annales de la Science agronomique française et étrangère (*manuscrits, épreuves, correspondance, etc.*) *devra être adressé* franco *à M.* **Henry Grandeau**, *docteur ès sciences, secrétaire de la Rédaction*, 3, *quai Voltaire, à Paris.*

ANNALES

DE LA

SCIENCE AGRONOMIQUE

FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

ORGANE

DES STATIONS AGRONOMIQUES ET DES LABORATOIRES AGRICOLES

PUBLIÉES

Sous les auspices du Ministère de l'Agriculture

PAR

LOUIS GRANDEAU

DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE DE L'EST
MEMBRE DU CONSEIL SUPÉRIEUR DE L'AGRICULTURE
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES STATIONS AGRONOMIQUES
VICE-PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ NATIONALE D'ENCOURAGEMENT A L'AGRICULTURE
DOYEN HONORAIRE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE NANCY

SIXIÈME ANNÉE — 1889

Tome I



PARIS

BERGER-LEVRAULT ET Cie, LIBRAIRES-ÉDITEURS

5, rue des Beaux-Arts

MÊME MAISON A NANCY

1889

GISEMENTS
DE PHOSPHATE DE CHAUX
DU TERRAIN CRÉTACÉ
DANS LE NORD DE LA FRANCE

Par H. HITIER

ÉLÈVE DIPLÔMÉ DE L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE, EN MISSION D'ÉTUDES

Les différents étages du système crétacé que l'on rencontre dans le nord de la France, renferment des gisements de phosphate de chaux assez nombreux, dont quelques-uns fort riches. Signalés depuis assez longtemps déjà par les géologues, ils n'ont commencé à être exploités que dans ces dernières années. Leur importance cependant est considérable, ceux des environs de Doullens, en effet, dès la première année de leur exploitation, c'est-à-dire en 1887, rendaient notablement plus forte que les années précédentes, la production des phosphates en France, ainsi que le constate le rapport officiel publié en décembre 1887[1].

Ces gisements présentent un grand intérêt pour le géologue et pour l'agriculteur; j'ai pu les visiter, recueillir d'autre part, auprès des géologues qui les ont signalés et étudiés, des industriels qui les exploitent, des agriculteurs qui les emploient, un ensemble de renseignements sur la position géologique, l'historique de la découverte, l'exploitation et le mode d'emploi de ces phosphates du

1. *Statistique de l'industrie minérale,* exploitation des phosphates de chaux pendant l'année 1886, 27 décembre 1887.

nord de la France. C'est un sujet d'actualité et un sujet essentiellement agricole.

Le tableau suivant résume brièvement la situation géologique et géographique des divers gisements de phosphates de chaux en France[1].

Crétacé.	Danien.	
	Sénonien	Breteuil (Oise). — Somme (environs de Doullens et Hallencourt).
		Pas-de-Calais (Orville).
		Nord (Quiévy).
	Turonien.	
	Cénomanien (Pernes-en-Artois).	
Infracrétacé	Albien.	Gault (Cher, Marne, Pas-de-Calais).
		Sables verts (Ardennes, Meuse).
		Grès vert (Ardèche, Drôme, Vaucluse, Yonne).
	Aptien.	
	Urgonien (Gard).	
	Néocomien.	
Jurassique.	Oolithe inférieure (Aveyron, Lot, Tarn).	
	Lias (Côte-d'Or, Indre, Haute-Saône, Vosges).	

Les phosphates du *Lias* se présentent sous forme de nodules ordinairement blanc jaunâtre ou gris jaunâtre. Ils sont surtout abondants dans la Côte-d'Or, aux environs de Semur.

Dans l'oolithe inférieure, on rencontre les phosphates en poches très irrégulières et très profondes. Ils se présentent sous forme de roches, nodules et filons d'une grande dureté. Ils sont ordinairement de couleur blanc violacé.

L'*Urgonien* renferme, dans le Gard, des phosphates en roches d'une dureté inférieure à celle du calcaire, de couleur blanc-jaune noirâtre, sur une petite étendue.

L'étage supérieur de l'infracrétacé, l'*Albien*, contient les premiers gisements découverts et étudiés avec tant de soin par M. de Molon. Tantôt sous forme de sable et nodules jaunâtres comme dans l'Ardèche, la Drôme, de nodules et graviers blanc grisâtre comme dans l'Yonne et le Vaucluse, tantôt sous forme de nodules durs, verts ou bleus, comme dans les Ardennes et le Pas-de-Calais.

---

1. Exploitation des phosphates de chaux pendant l'année 1886 (*Officiel* du 27 décembre 1887).

Dans le système crétacé, les phosphates se rencontrent uniquement dans le nord de la France ; ce sont ces derniers que je vais étudier avec quelque détail.

Les trois premiers étages du système crétacé, le Cénomanien, le Turonien et le Sénonien, ont seuls laissé en Flandre, en Artois et en Picardie des dépôts importants ; le Danien, en effet, n'y est représenté qu'en quelques points isolés.

Le Cénomanien, dans ces régions, débute presque toujours par une assise de marne ou de sable rempli de petits grains de glauconie (hydrosilicate de fer et de potasse) [1].

La présence du phosphate de chaux y est fréquente [2] : des nodules riches et abondants s'observent au cap de la Hève, dans les sables glauconieux *inférieurs du cénomanien ;* on les retrouve dans la marne glauconieuse à *Ammonites laticlavius* de Boulogne.

En Flandre, M. Barrois distingue plusieurs horizons dans le poudingue glauconieux du cénomanien, nommé tourita par les mineurs ; mais il y signale presque toujours la présence de fossiles phosphatés ou de nodules phosphatés. Dans les Ardennes, il en est de même.

En Champagne, aux environs de Sainte-Menehould, les sables quartzeux et glauconieux contiennent des nodules phosphatés exploitables.

Cependant les divers gisements de ce niveau ne sont exploités que dans le Pas-de-Calais, à Pernes et dans les environs, par la Société des phosphates de Pernes ; et à Audincthun, par M. Desailly.

Découverte.

Ils ont été reconnus à Pernes-en-Artois (chef-lieu de canton de l'arrondissement de Béthune, à 20 kilomètres sud de cette ville), par M. Vivien, ingénieur chimiste à Saint-Quentin. On rencontre ce

1. *Remarque.* Glauconie, silicate hydraté d'oxyde ferrique et de potasse, presque toujours aluminifère. La glauconie renferme 40 à 58 SiO^2, 18 à 24 Fe^2O^3, 5 à 13 K^2O, 1 à 3 Al^2O^3, 7 à 12 H^2O, et un peu de magnésie. (De Lapparent, *Cours de minéralogie*).

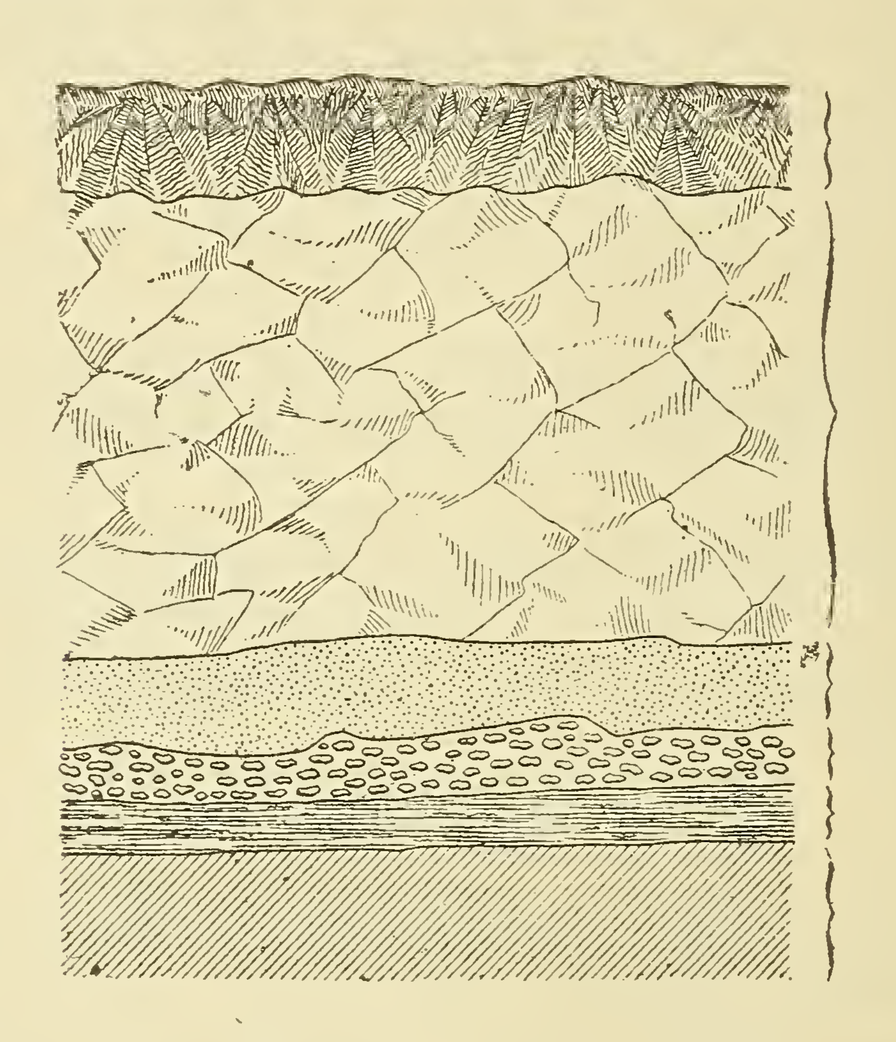
2. De Lapparent, *Traité de géologie.*

même gisement sur les territoires de Bailleul, Blaringhem, Febvin-Palfart, Nédonchel, Horninghem, le Flouy, villages qui sont situés sur une ligne parallèle au terrain houiller du Pas-de-Calais.

Position géologique.

La couche qui renferme le phosphate n'est séparée des schistes rouges dévoniens que par un banc d'argile du gault, d'un noir violacé plus ou moins épais : à Pernes même les schistes dévoniens forment le sol de la place du marché et bordent à droite la route qui conduit de la station au village.

Voici, du reste, une coupe du terrain que j'ai prise dans un des chantiers d'exploitation.



Les fossiles rencontrés dans la couche phosphatée : *Ammonites laticlavius, varians, Mantelli; — Ostrea carinata, Pecten asper, Epiaster crassissimus,* etc., caractérisent la base de l'étage cénomanien ; c'est donc bien à un niveau correspondant à la craie glauconieuse de Rouen que ce gisement appartient.

Étendue du gisement.

La couche à nodules phosphatés s'étend sur 50 hectares dans les concessions de Pernes et sur 150 dans les concessions des communes voisines. Cet étage paraît s'arrêter à Reclinghem, où il se trouve simultanément avec l'étage du Gault, sur une étendue à peine appréciable.

A Pernes, la couche unique a en moyenne 40 centimètres d'épaisseur ; elle se divise parfois en 2 lits de 20 à 22 centimètres ; dans les concessions voisines, la couche n'a plus que 15 centimètres [1].

Le rapprochement des données ci-dessus permet d'évaluer à 300,000 tonnes le gisement de Pernes et à 330,000 tonnes celui des communes voisines.

Exploitation.

A Pernes, la couche de phosphates n'est pas horizontale, mais elle est inclinée environ de 10°. Elle affleure à la surface du sol en un point ; mais plus loin on ne la rencontre plus qu'à une profondeur de 30 mètres. Aussi a-t-on dû employer 3 modes différents pour l'extraction.

1° L'exploitation se fait à ciel ouvert jusqu'à 7 mètres, par banquettes régulières.

2° Par galeries et à l'aide de plans inclinés jusqu'à 20 mètres.

3° Enfin au moyen d'un grand puits avec cage guidée et moteur à vapeur, pour l'extraction à 30 mètres.

Exploitation à ciel ouvert.

Des ouvriers enlèvent la découverte ; on nomme ainsi la terre végétale, l'argile, la marne et les sables verts ; puis on extrait la couche phosphatée qui est mise dans des wagonnets Decauville et dirigée vers l'usine : à 7 mètres, on emploie 3 banquettes et le phosphate est ainsi jeté par 3 jets successifs jusqu'au wagonnet.

---

1. Communiqué par la Société des phosphates de Pernes.

Exploitation par galeries.

De 7 à 20 mètres on exploite en galeries : la galerie principale a 1m,20 en moyenne de hauteur : un solide bâti en bois protège les ouvriers contre les éboulements ; des mineurs travaillant alors soit à genoux, soit même étendus par terre, n'enlèvent que la couche phosphatée dans les galeries transversales ; un petit chemin de fer Decauville circule dans les galeries principales qui s'enfoncent jusqu'à une profondeur de 20 mètres.

Enfin la Société des phosphates de Pernes a installé, pour l'extraction à 30 mètres, un grand puits avec cage guidée et moteur à vapeur. La machine d'extraction est du système Levavasseur. Le changement de direction se fait pendant la marche, sans interruption et sans danger. Avec le frein et sans toucher à la vapeur, on obtient un arrêt instantané. On monte avec cette machine 90 petites berlines de 250 litres à l'heure.

Produit brut.

Le produit brut retiré de la mine se compose de nodules de phosphates de chaux empâtés dans une gangue d'argile et de sable glauconieux. Ils sont de couleur noir verdâtre. Leur grosseur varie entre celle des grains glauconieux les plus ténus et celle d'une petite sphère de 5 à 6 centimètres de diamètre.

Ce mélange intime de grains de glauconie et de phosphate de chaux fait que le même produit contient à la fois de l'acide phosphorique et de la potasse. Mais cette potasse à l'état de silicate est insoluble dans l'eau : aussi, pour l'obtenir par l'analyse, doit-on avoir recours à la méthode de Sainte-Claire Deville pour l'analyse des roches.

La Société des phosphates de Pernes extrait à Pernes 140 tonnes de produits bruts par jour et 25 à Febvin-Palfart.

Cette Société a installé sur place, à Pernes-en-Artois, une usine remarquable ; elle a une seconde usine à Violaines : elle occupe ainsi 80 ouvriers.

Le produit brut est amené par les chemins de fer Decauville, aux lavoirs mécaniques, où l'on sépare les nodules de leur gangue : le

sable glauconieux se dépose et est exposé à l'air pour être séché : l'argile entraînée avec les eaux de lavage est recueillie dans des bacs de décantation. Quant aux nodules phosphatés, ils sont retirés à l'aide de râteaux et portés au séchoir.

Les 3 produits: nodules, sable vert, glaise verte, peuvent être employés soit par l'agriculture, soit par l'industrie.

Voici en effet leur composition. J'ai trouvé dans les :

	NODULES SÉPARÉS.	SABLE VERT.
	P. 100.	P. 100.
Acide phosphorique	21.85	3.38
Chaux	44.80	»

Analyses faites au Laboratoire de l'École des Mines.

	SABLE VERT.	GLAISE VERTE.
	P. 100.	P. 100.
Silice	38.90	36.20
Alumine	7.20	11.66
Protoxyde de fer	12.20	9.74
Chaux	14.56	16.05
Magnésie	4.53	4.65
Potasse	4.39	2.84
Soude	0.35	»
Acide phosphorique	3.28	0.57
Acide carbonique	6.80	10.00
Eau	8.63	9.30
	100.84	101.01

Les nodules séparés et portés au séchoir sont ensuite broyés et tamisés; je décrirai plus loin l'ensemble de ces opérations en étudiant les produits commerciaux.

Étage Turonien.

La craie marneuse ou turonienne, qui se rencontre au-dessus du cénomanien, est surtout utilisée comme amendement dans les régions où elle ne forme pas le sol lui-même[1] : dans le Nord, ces marnes,

1. De Lapparent, *Traité de géologie.*

aisément façonnées par les agents d'érosion, ont formé des plaines très peu ondulées comme celles de Cappelle, portant de beaux bois ou des prairies.

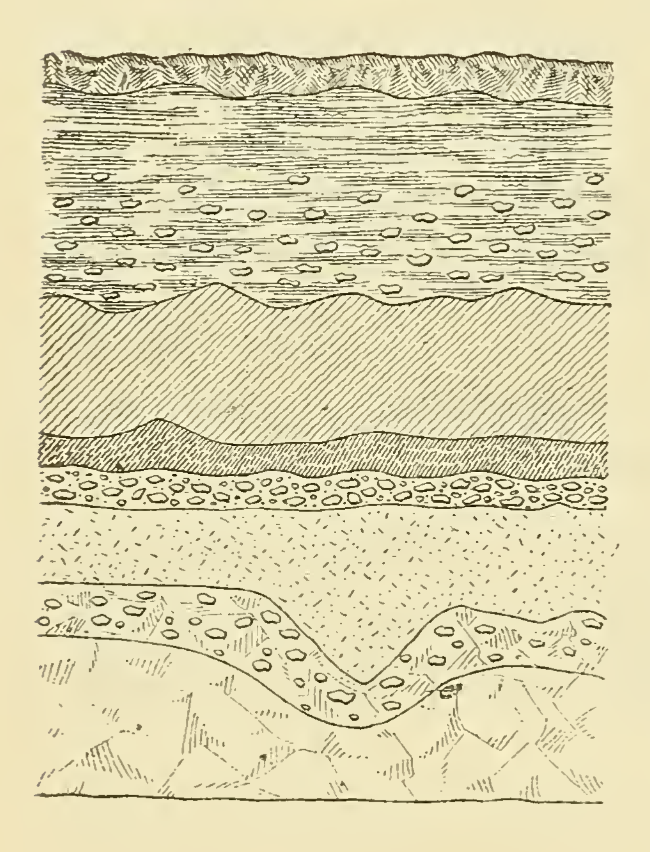
Toutefois, dans les environs de Rethel, le turonien est partout développé à l'état de craie blanche, souvent noduleuse et même phosphatée.

Étage Sénonien.

Mais c'est dans l'étage supérieur ou sénonien que se rencontrent, on peut le dire, les plus riches gisements de phosphate de chaux de la France.

Quiévy.

Tout d'abord dans le Nord, à Quiévy, village situé entre Cambrai et Valenciennes, on aperçoit le long de la route un lambeau de craie grise tendre au toucher, surmontant la craie blanche ordinaire. Frappé de l'analogie de cette craie avec celle de Ciply, un ancien ingénieur d'une société belge, qui exploitait des gisements de phosphate dans les environs de Mons, entreprit des recherches et découvrit un gisement qui, depuis deux ans, a déjà fourni de très bons produits à l'agriculture.



Au-dessous d'une couche de terre végétale de 25 à 30 centimètres d'épaisseur, on rencontre un banc d'argile de 2 à 3 mètres, puis 2 mètres environ de terre glaise blanche mêlée de terre noire, très riche en bioxyde de manganèse, et enfin 50 à 60 centimètres de sable phosphaté, au-dessus de la craie blanche du sénonien. Cette craie, sous une épaisseur de 50 centimètres environ, au contact avec l'argile phosphatée, est elle-même riche en acide phosphorique.

Un cordon irrégulier de petits nodules blanchâtres phosphatés s'observe au-dessus de la couche exploitable proprement dite.

Ce phosphate se présente sous la forme de sable plus ou moins terreux, très friable, de couleur gris verdâtre.

L'exploitation se fait par banquettes à ciel ouvert. Le produit brut du reste très pulvérulent, et qui jusqu'à l'an dernier était vendu tel quel aux agriculteurs, est maintenant séché, broyé et tamisé avec très grand soin.

J'ai trouvé les proportions suivantes d'acide phosphorique :

	SABLE.	CRAIE phosphatée.	NODULES.
	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Acide phosphorique.	20.007	5.75	30.35

M. Lardrière a signalé à Montoy et à Tores, près de Cateau-Cambrésis, deux dépôts phosphatés exploitables : « Une sorte de conglomérat crayeux, connu dans le pays sous le nom de marnes, et des sables glauconieux les recouvrent. Ces sables titrent de 15 à 17 p. 100 d'acide phosphorique ; ils forment une couche dont l'épaisseur connue jusqu'ici varie entre $0^m,30$ et $1^m,80$. La marne est moins riche en phosphate. » Ces gisements reposent sur la craie à *Micraster breviporus* et sont recouverts par de l'argile brune et à conglomérat à silex. Ce sont surtout de petites poches qui renferment le sable phosphaté[1].

Cette craie phosphatée que nous avons observée à Quiévy, constitue dans la Somme des gisements bien autrement importants ; elle renferme en outre des poches d'un sable phosphaté très riche et si abondant, qu'on en a évalué la quantité dans le gisement des environs de Doullens à 1,500,000 tonnes, représentant aux prix de vente actuels, qui sont très bas, une valeur de près de 100 millions de francs.

Justice n'a pas toujours été rendue aux savants qui, les premiers, avaient indiqué ces gisements.

---

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 10 décembre 1888.

Historique de la découverte des phosphates de la Somme.

Dès 1849, Buteux, géologue de la Somme, avait signalé à Beauval (Somme) une craie à l'état arénacé et riche en phosphate de chaux. Dans l'esquisse géologique du département de la Somme, qu'il publia en 1861, on lit, page 27 :

« Lors de l'adoucissement de la rampe de Beauval du côté « d'Amiens, la partie supérieure de la craie étant découverte, on « l'a trouvée, vers le haut de la côte, à l'état arénacé, puis à celui « d'agrégation s'effritant d'abord assez facilement entre les doigts « et ensuite plus dure à mesure qu'on descendait. On n'alla pas au « delà de 7 mètres de profondeur. Cette craie un peu sableuse, « surtout dans la partie incohérente, renferme de petits fragments « de celle inférieure avec bélemnites roulées, des *Ostrea semiplana,* « des serpules et surtout des dents de plusieurs espèces de squales.

« Elle est formée de carbonate et de phosphate de chaux. D'après « une analyse faite à ma demande à l'école des mines, elle contient « pour 1 de matière :

Eau et acide carbonique	0.320
Chaux	0.340
Acide phosphorique	0.135

M. de Mercey signala, en 1863, une craie identique à Hardivillers, près Breteuil (Oise) ; et à Dreuil-Hamel, près Hallencourt (Somme), en 1867. Il proposa même, dès cette époque, un premier projet de mise en exploitation.

Or, Beauval, Hardivillers, près Breteuil, et Hallencourt sont les trois endroits où l'on exploite aujourd'hui les phosphates ; malheureusement, il faut le reconnaître, ces intéressantes constatations restèrent dans le domaine de la géologie pure, lorsque, au commencement de juin 1886, M. Merle, géologue à Argenton-sur-Creuse (Indre), agissant comme représentant et associé de M. Poncin, géologue à Lyon, reconnut que ces sables de Beauval étaient formés

de phosphate de chaux presque pur [1]. M. Hordequin, de Doullens, qui possédait une carrière fort riche de sable, reçut une offre d'achat. Mais frappé de la demande, M. Hordequin préleva un échantillon pour s'assurer de ce qu'il y avait d'extraordinaire dans son sable, et il y reconnut du phosphate de chaux [2]. Avec un très grand sentiment de délicatesse, M. Hordequin prévint aussitôt les habitants de Beauval, qu'ils possédaient des trésors enfouis dans leur terre.

La nouvelle de la découverte se répandit bientôt; les grands industriels du Nord de la France, de la Belgique surtout accoururent, les prix d'achat des terrains renfermant le phosphate augmentèrent avec une rapidité extrême. On cite, entre autres, un hectare et demi de terre vendu 750,000 fr.

Précisons la position géologique de ces gisements : M. de Mercey l'a nettement indiquée soit dans des notes présentées à l'Académie des sciences, soit dans les articles du *Journal d'agriculture pratique* (1887, numéro du 3 février).

Dans le sénonien, l'on a distingué les assises suivantes :

Sénonien .	Campanien . .	Craie à *Belemnitella mucronata.*
		Craie à *Belemnitella quadrata.*
	Santonien. . .	Craie à *Micraster coranguinum.*
		Craie à *Micraster cortestudinarium.*

C'est dans les couches de craie à *Belemnitella quadrata* du campanien, que ces phosphates se rencontrent en France ; ce même étage contient à son sommet une craie phosphatée à Mesvin-Ciply, en Belgique.

Des couches phosphatées qui occupent ainsi le sommet et la base du même étage, présentent entre elles les plus grandes analogies sur les rapports de la structure et de la composition, ainsi que sur les modes d'exploitation.

Voici du reste un tableau donné par M. de Mercey et résumant ces indications.

---

1. Olry, *le Phosphate de chaux et les établissements Paul Desailly.*
2. A. Bor, *les Phosphates de Beauval.*

Danien . .	Craie à *Nautilus danicus*.		
Sénonien .	Craie à *Cardiraster ananchytis* avec craie phosphatée (Mesvin-Ciply)	20m,00	92
	Craie à *Belemnites mucronatus*	35 ,00	
	Craie à *Belemnites quadratus* avec craie phosphatée à la base (Beauval, etc.)	37 ,00	
Santonien .	Craie à *Micraster coranguinum*.		

A Beauval, Orville et dans les villages voisins où l'on exploite aujourd'hui les phosphates, les couches qui ont succédé aux couches phosphatées et qui sont formées par de la craie blanche, avec silex contenant encore le *Belemnites quadratus*, paraissent n'avoir laissé comme témoins de leur existence que leurs silex empâtés dans le bief tertiaire. C'est, en effet, au-dessous de cette argile à silex que le sable phosphaté se rencontre à Beauval, Orville, etc., et il peut y être exploité à ciel ouvert.

Les exploitations des environs de Doullens sont les plus riches exploitations : ce sont celles de Beauval, Orville, Terramesnil, Candas, Beauquesne, villages très rapprochés les uns des autres, sur la limite des départements de la Somme et du Pas-de-Calais. Beauval (Somme) est situé sur la route de Paris à Dunkerque, à 8 kilomètres de Doullens ; Orville (Pas-de-Calais), à 7 kilomètres de cette même ville, sur la petite rivière de l'Authie.

Aspect des gisements.

Les gisements exploités s'annoncent au voyageur de fort loin : situés sur le sommet des collines ou plus généralement sur le penchant tourné vers le soleil levant, ils apparaissent entourés de buttes de sable et d'argile extraits des poches, ce qui donne l'aspect d'une série de petites redoutes dont les talus n'auraient pas encore été engazonnés.

L'aspect général de la contrée est celui des régions picardes : bief tertiaire ou limon des plateaux surmontant la craie blanche qui affleure le long des pentes des collines et qui apparaît en grande masse le long des parois de toute tranchée faite dans ce terrain.

L'altitude moyenne des gisements est de 115 à 130 mètres.

Dans ces gisements des environs de Doullens, le phosphate se présente sous forme de sable, de craie arénacée, blanc jaunâtre, plus ou moins coloré suivant la proportion de fer qu'il renferme. Il est contenu dans des poches de craie, poches coniques d'une contenance très variable de 25 à 500 mètres cubes, surmontées d'une couche plus ou moins épaisse d'argile à silex.

Avant d'examiner en détail ces poches de sable phosphaté, voyons comment on en constate la présence dans les champs.

Sondages.

C'est à l'aide de sondages que l'on reconnaît la présence du sable phosphaté. Des ouvriers, ordinairement au nombre de 4, accompagnés d'un contremaître arrivent dans le champ. Ils enfoncent la sonde et tout d'abord c'est avec grande peine, car l'argile à silex qu'il faut traverser est très compacte. Si la sonde frappe contre un banc de craie, ils la retirent et on admet, au moins jusqu'à présent, que l'on ne trouvera pas de phosphate. Si, au contraire, après avoir péniblement traversé l'argile, la sonde s'enfonce tout à coup avec grande facilité, c'est que l'on a rencontré le phosphate. Aussitôt on prélève un échantillon et tout autour l'on sondera pour mesurer, le plus exactement possible, l'épaisseur et l'étendue du gisement et pouvoir apprécier la valeur du champ.

Les ouvriers phosphatiers, les *vieux phosphatiers* (les contremaîtres viennent presque tous de Ciply), comme on les nomme à Beauval, reconnaissent très bien au toucher et à la vue le phosphate ; ils savent même avec une très grande exactitude en apprécier la teneur en acide phosphorique.

Dans les environs de Doullens, les gisements affectent presque tous la même forme et sont exploités à ciel ouvert, sauf à Beauquesne, où l'épaisseur de l'argile à silex exige une exploitation à l'aide de puits.

Dans le champ où a été reconnue l'existence du phosphate, on va d'abord enlever la découverte ; on nomme ainsi les couches de terre

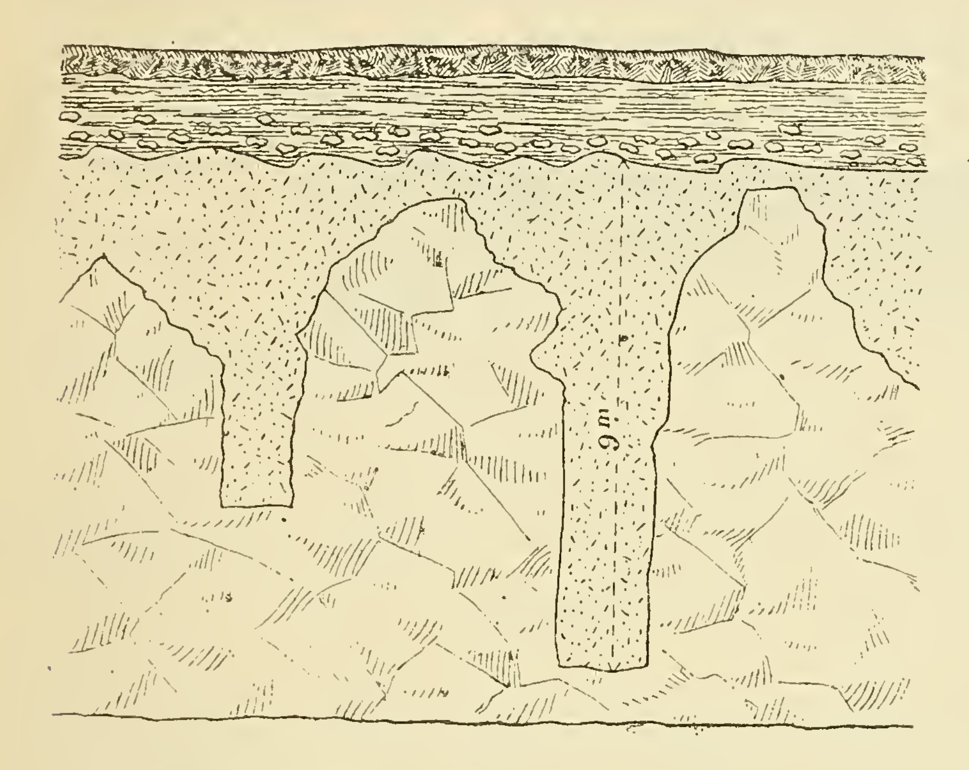
végétale et d'argile qui surmontent les phosphates. L'épaisseur de la couche végétale varie de 5 à 15 centimètres, au-dessous l'on rencontre une couche d'argile de couleur rouge-sang, assez souvent mêlée de terre glaise ardoisée, ce qui donne l'aspect d'une argile bariolée. Cette argile est très plastique et colle fortement aux doigts quand on la touche. Là, au milieu de cette argile, se voient des silex anguleux ; ailleurs, ils sont absents ou tout au moins fort rares. Ici la couche d'argile n'a que $0^{m},80$ d'épaisseur, là elle atteint 4, 5 mètres, 12 mètres même à Terramesnil et à Beauquesne.

Sous l'argile apparaît une mince couche de sable jaunâtre, puis bientôt se montrent des blocs de craie, et l'on distingue les parois de la cuvette contenant le phosphate. Celui-ci est renfermé dans des poches de craie ayant la forme de cônes renversés, terminés le plus souvent par une sorte de puits naturel cylindrique, dont le diamètre va tantôt en s'élargissant, tantôt en se rétrécissant. La largeur et la profondeur des poches sont très variables. Dans le gisement dit de l'ancien bois de Beauval, le diamètre supérieur de la base du cône atteint 12 mètres et la profondeur du puits 19 mètres. A Orville, le sable phosphaté a été observé sous une épaisseur maxima de 35 mètres. Mais à côté, des poches ne renfermeront que 25 mètres cubes de ce sable.

A Beauval, les poches les plus riches sont situées sur le haut de la colline ; à mi-côte elles sont moins riches. A Orville, au contraire, sur le sommet même du plateau, le phosphate est très rare. Dans le fond des puits qui terminent les poches, puits qui sont polis et comme cimentés, se rencontre une masse d'argile à silex d'une très grande densité, c'est le cul de bief à silex.

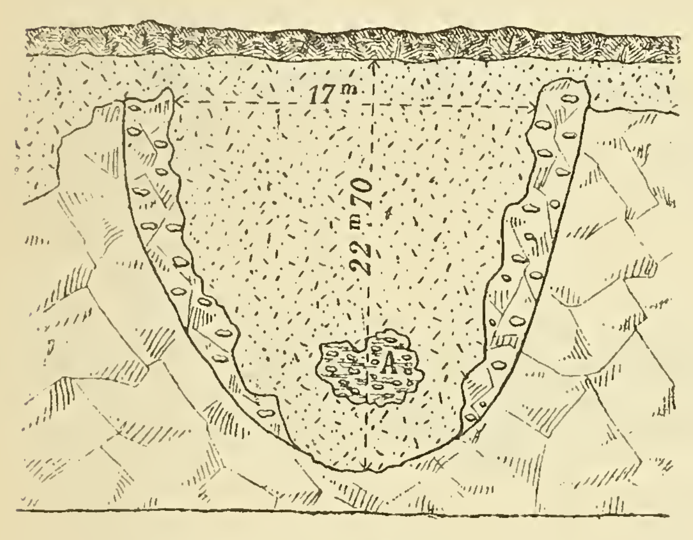
La couche supérieure du sable phosphaté de couleur rougeâtre a une épaisseur de 1 mètre à $1^{m},50$ et ne dose que 40 à 45 p. 100 de phosphate de chaux. Au-dessous, un phosphate d'un jaune plus pâle titre 60 à 65, dans le puits même 80 à 85 et au fond de ce puits, ce sable devenant parfois tout blanc aurait dosé jusqu'à 90. La craie qui entoure ce sable phosphaté est elle-même riche en acide phosphorique ; elle dose de 30 à 40 p. 100 de phosphate de chaux. Mais à l'heure actuelle, dans les gisements des environs de Doullens on ne l'exploite pas.

Voici quelques coupes prises à Orville et Beauval, indiquant l'allure de ces gisements et les poches de sable phosphaté.



Terre végétale, 0m,20.

Argile à silex, 0m,60.



Terre végétale et argile 0m,80.

Craie phosphatée.

Craie ordinaire.

Poche de Beauval, près Vieille-Église.

A, Cul de bief à silex.

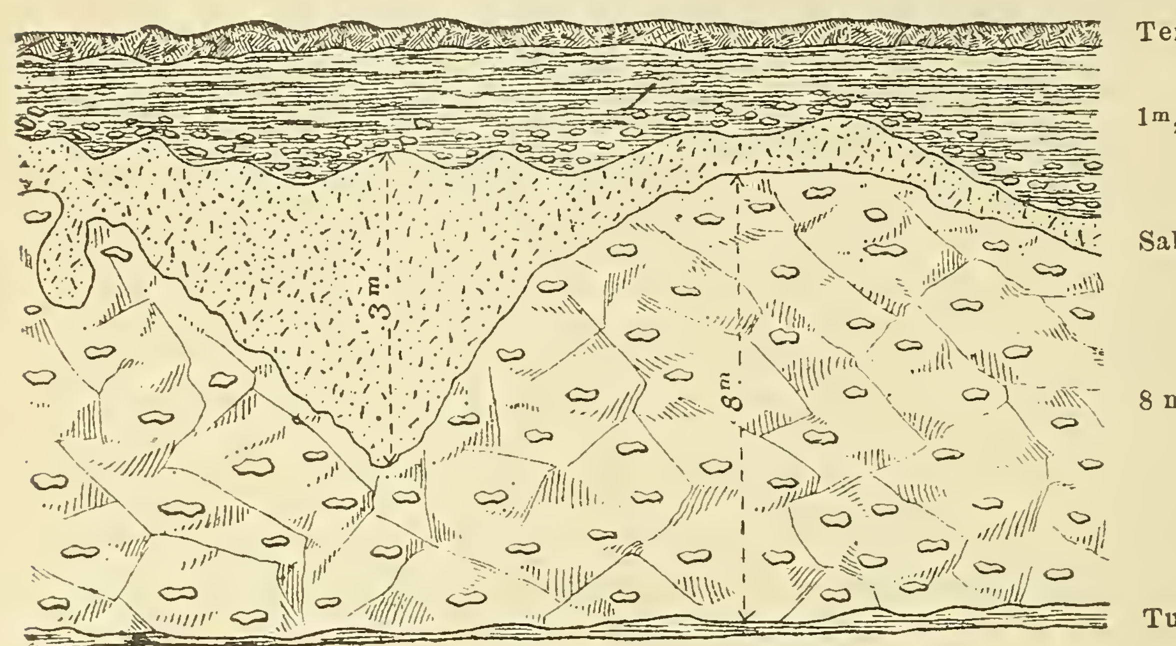
A Hardivillers, au contraire, la craie phosphatée est l'objet d'une exploitation importante ; et elle le deviendra bientôt à Hallencourt.

Gisement de Breteuil.

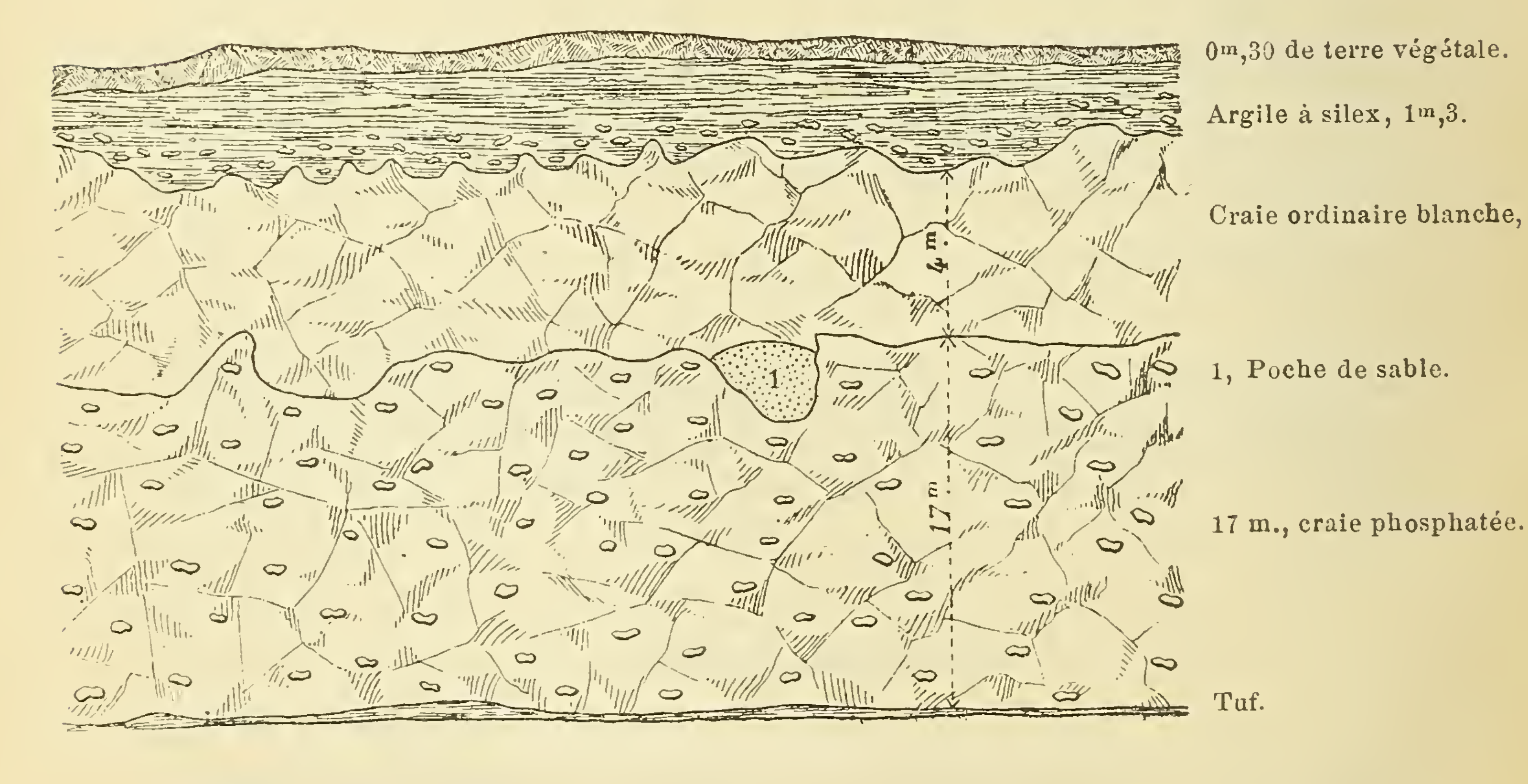
Les poches si caractéristiques du gisement des environs de Doullens ne sont plus à Breteuil qu'une exception et ont toujours moins d'importance. Le sable phosphaté se trouve particulièrement au-

dessus de la craie phosphatée, suivant les ondulations de l'argile à silex ; mais ces couches sont d'allures très irrégulières.

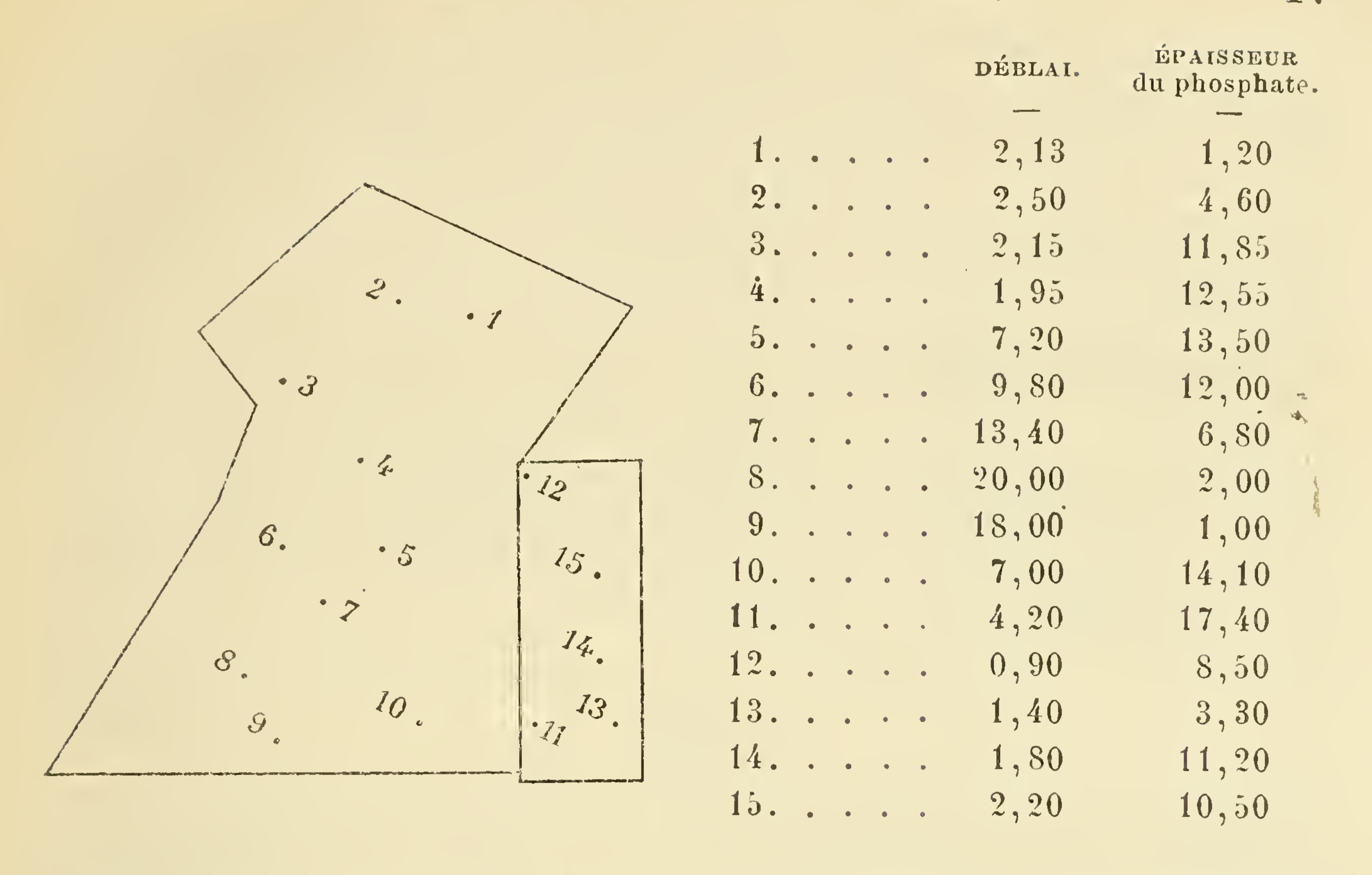
Voici, du reste, plusieurs coupes que j'ai pu prendre à Breteuil, et qui montrent la disposition du gisement.



Un peu plus loin, à quelques mètres, on ne trouve plus la craie phosphatée que sous une épaisse couche de craie campanienne sans acide phosphorique.



Voici maintenant les données recueillies dans 15 puits de sondage percés dans un champ de 5 hectares et demi, à M. Levavasseur.



	DÉBLAI.	ÉPAISSEUR du phosphate.
1.	2,13	1,20
2.	2,50	4,60
3.	2,15	11,85
4.	1,95	12,55
5.	7,20	13,50
6.	9,80	12,00
7.	13,40	6,80
8.	20,00	2,00
9.	18,00	1,00
10.	7,00	14,10
11.	4,20	17,40
12.	0,90	8,50
13.	1,40	3,30
14.	1,80	11,20
15.	2,20	10,50

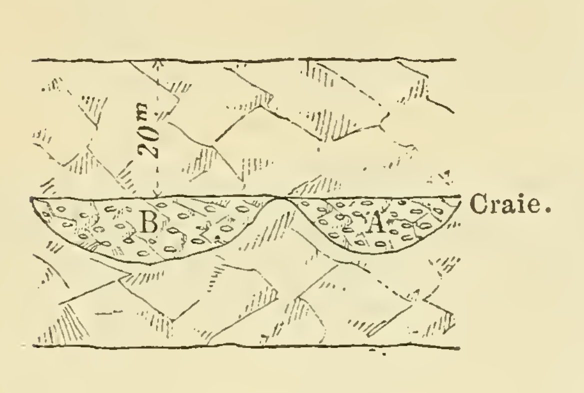
Ces croquis et ces chiffres indiquent combien la couche est peu régulière. Le sable phosphaté se présente toujours sous la forme de petits grains très fins et friables, de couleur rougeâtre ; quant à la craie phosphatée, elle est de couleur grise et s'effrite facilement entre les doigts ; elle est plus ou moins mélangée, pétrie, pour ainsi dire, de petits grains jaunâtres, de nodules de phosphates de chaux ; dans la partie inférieure, ces petits grains sont toujours plus abondants, et la craie prend l'aspect de sable : elle peut alors renfermer jusqu'à 60, 70 de phosphate de chaux.

Le gisement est terminé par une pierre très dure, nommée par les ouvriers *tuf* et riche en acide phosphorique, au-dessous la craie blanche santonienne.

Gisement d'Hallencourt.

A Breteuil, l'on trouve encore assez souvent la craie phosphatée directement sous l'argile à silex ; à Hallencourt au contraire, on ne la rencontre plus qu'après avoir traversé une couche de craie ordinaire campanienne, de 20 mètres d'épaisseur en moyenne. Les nombreux puits de sondage percés entre Hallencourt et Wanel ont permis à M. de Mercey de se rendre un compte très exact de la forme de ce gisement.

Il occupe deux cuvettes séparées l'une de l'autre de quelques mètres. La craie phosphatée en augmentant d'épaisseur devient de plus en plus riche : sur les bords mêmes de la cuvette, elle n'a que 12 à 15 centimètres et ne titre que 7 à 8 d'acide phosphorique. Au fond même de la cuvette, elle atteint 14 mètres et devient un véritable sable dans lequel j'ai trouvé 35 p. 100 d'acide phosphorique.



A et B, Cuvettes de craie phosphatée.

Origine.

L'origine de ces phosphates dans la Somme a donné lieu à plusieurs hypothèses de la part des géologues; M. Stan. Meunier explique ainsi qu'il suit la formation des poches de Beauval.

« Il est parfaitement certain que le phosphate s'est accumulé dans les puits de la craie au fur et à mesure du creusement de ceux-ci, sous l'influence des agents d'érosion. Cette origine par voie de dénudation subaérienne est identique à celle qu'il faut attribuer aussi à l'argile à silex et ne suppose aucune réaction différente de celle dont nous sommes témoins tous les jours. A cet égard, il semble bien établi que les masses crayeuses non phosphatées et riches en silex d'où dérive le bief étaient, à Beauval, originairement superposées aux couches crayeuses phosphatées. La dénudation, par infiltration désoxydante d'eau carboniquée, s'est d'abord exercée à leurs dépens, puis les couches phosphatées ont été attaquées à leur tour et le phosphate, comme précédemment l'argile à silex, est resté en résidu après la dissolution du calcaire[1]. » Mais comment le phosphate a-t-il été amené dans la craie ? M. Stan. Meunier se rattache à l'opinion de M. Cornet, qui pense que le phosphate renfermé dans la craie brune de Ciply est d'origine organique, comme le montre, ajoute-t-il, la forte proportion de matière organique azotée qu'il renferme.

1. *Comptes rendus Acad. des Sciences,* t. CIII, 11 octobre 1886.

Il est bien difficile d'admettre l'origine de ces poches phosphatées « par voie de dénudation subaérienne » comme l'indique M. Stan. Meunier. Car, les couches de craie arénacées ou qui ne sont pas riches en phosphates sont recouvertes à Breteuil, à Hallencourt par une couche de craie qui peut atteindre une épaisseur d'une trentaine de mètres, craie qui, sans aucun doute, eût été enlevée par les eaux dissolvantes venant de la partie supérieure.

Pour M. de Mercey, dans ces gisements tout dénote le fonctionnement de sources minérales aux périodes de plus grande activité desquelles ont dû correspondre les parties arénacées et riches en phosphate; il décrit même les lignes de sortie de ces eaux phosphatées.

Il est inutile, il me semble, d'admettre l'existence de sources phosphatées. En effet, un fait pour ainsi dire constant est la richesse de la craie en acide phosphorique. Certaines couches de craie ont pu être enrichies plus que d'autres par l'apport de matières organiques, débris de poissons par exemple, l'*aspect littoral très prononcé*[1] *qu'offrent ces gisements de Beauval, Hardivillers, Hallencourt,* ainsi que les nombreuses dents de poissons qu'on y rencontre, ne peuvent que confirmer cette hypothèse.

Si maintenant on se rappelle que l'âge de ces gisements correspond à une époque de grande activité interne, qu'aujourd'hui encore dans l'Eiffel les sources chargées d'acide carbonique sont nombreuses, on comprendra que de pareilles sources aient dissous la craie, en tout ou partie, en laissant comme résidu insoluble le phosphate de chaux, qui est renfermé dans les riches poches de Beauval et des environs de Doullens.

Exploitation.

A Hallencourt, le gisement n'est pas encore exploité. Mais à Breteuil et dans les environs de Doullens, l'exploitation est des plus actives. On y exploite le phosphate à ciel ouvert par banquettes

---

[1] De Lapparent, *Traité de géologie.*

successives à Beauval et Orville ; par tranchées à Breteuil ; à Beauquesne, dans les environs de Doullens, une société exploite à l'aide de puits et de galeries.

Le produit brut, sable ou craie phosphatée, est porté à l'usine, qui se trouve ordinairement sur le lieu même du gisement. Le sable y est tout d'abord desséché avant d'être broyé et tamisé, la craie beaucoup moins riche est soumise à des traitements divers afin de l'enrichir.

Mais voyons d'abord quelle est la composition de ces différentes matières au sortir de la mine.

M. Bor, le savant professeur de chimie de l'école de pharmacie d'Amiens, a bien voulu me communiquer les analyses suivantes.

Analyses de divers échantillons de phosphates de la Somme.

LABORATOIRE.	ORVILLE pauvre. A. Bor.	BEAUVAL. 2e A. Bor.	BEAUVAL. 1er A. Bor.	BEAUVAL. Gibson à Londres.	Dr CRISPO. Anvers.	PETERMANN.
Humidité de 15 à 25 p. 100						
Matières organiques	2.90	2.87	3.04			
Silice	11.16	4.05	2.62			
Acide phosphorique	21.39	32.61	34.52	33.58	33.18	33.72
Acide sulfurique	traces.	0.45	0.55			
Acide carbonique	7.04	4.02	3.81	2.80	1.50	2.24
Oxyde de fer	2.95	1.65	1.21	2.20		
Alumine	8.50	0.69	0.48	0.44		
Chaux	34.20	44.27	46.47	50.86		
Magnésie	non dosé.					
Alcali et non dosé	3.54	9.36	7.30	9.16		
Équivalent en phosphate de chaux	46.65	71.08	75.25	73.30	72.43	73.61
Fluorure de calcium 1.50 *à* 3 *p.* 100.						

J'ai analysé d'autre part des échantillons de phosphate que j'avais recueillis sur les gisements mêmes.

		PhO^5.	CaO.	SiO^2.	Fe^2O^3.	Al^2O^3.
Orville . . .	*Sable*.	29.71	44.52	4.0	0.84	3.1
	Craie.	19.17	50.21	1.0	0.70	1.3
Breteuil. . .	*Sable*.	27.79	42.56	0.3	0.70	3.8
	Craie.	13.47	33.71	1.0	0.70	2.8
Hallencourt .	*Craie*.	11.62	52.92	0.3	0.84	1.6

Dans le fond d'une des cuvettes d'Hallencourt, un échantillon de sable a donné 37.701 p. 100 d'acide phosphorique.

Dans le tuf, fond du gisement à Breteuil et Hallencourt, j'ai trouvé :

		PhO^5.	CaO.	SiO^2.
Hallencourt .	*Tuf*.	5.11	51.80	0.5
Breteuil. . .	*Tuf*.	24.28	50.68	0.7

Produits commerciaux.

Voyons maintenant sous quelle forme on les présente à l'agriculture.

Le phosphate brut renfermant toujours une plus ou moins grande proportion d'humidité et étant loin d'avoir le degré de pulvérisation que l'on exige aujourd'hui, nodules et sables doivent tout d'abord être séchés et ensuite broyés et tamisés. Pour sécher le produit phosphaté, on le place sur des plaques de fonte sous une épaisseur de 10 à 15 centimètres. Les gaz chauds de la combustion opérée dans des foyers spéciaux circulent sous ces plaques avant de s'échapper par une cheminée située à l'extrémité des plaques; dans quelques usines on a remplacé ces séchoirs à plaques par un cylindre permettant un séchage plus rapide et plus parfait.

A part ces appareils de dessiccation, le reste de l'usine ressemble à une minoterie composée de blutoir et de paires de meules. Le sable séché est passé au blutoir à mailles théoriquement de 100, mais qui le plus souvent n'est qu'un tamis de 80 ou 70. Ce qui passe à travers les mailles est recueilli dans des sacs de 100 kil. qu'on pèse et plombe après en avoir prélevé un échantillon. Ce qui est resté sur le tamis, constitue les nodules qui sont reçus dans un broyeur et de là passent entre deux paires de meules de pierre analogues à celle des meuniers. Une machine à vapeur fait mouvoir meules et blutoir.

A Breteuil, le travail de l'usine est différent. Ici, en effet, on est en présence de craie phosphatée et à côté des sables si riches de la Somme, la vente de phosphates pauvres étant difficile, on a cherché à enrichir cette craie.

Trois ou quatre moyens ont été proposés : 1° transformation en phosphate d'ammoniaque par *un procédé chimique ;* 2° *procédés mécaniques* par lévigation et insufflation.

Les deux procédés de lévigation et insufflation sont basés sur la plus grande densité du phosphate de chaux par rapport à la densité du carbonate de chaux. (D. pour le PhO^5 3 CaO = 3,2. D' pour CaO, CO^2 = 2,7.) Voici comment on peut les réaliser au laboratoire.

Procédé par insufflation. — La craie phosphatée pulvérisée étant placée sur une peau de tambour, on tape dessus à l'aide de baguettes tout en produisant un violent courant d'air. Les particules de carbonate de chaux plus légères sont entraînées plus loin que celles de phosphate de chaux. Il se forme ainsi 2 tas dont le plus éloigné ne renferme plus que de 5 à 10 p. 100 de PhO^5, 3 CaO, au lieu de 30.

Second procédé mécanique *par lévigation.* La craie phosphatée pulvérisée et placée sur un plan incliné est soumise à un courant d'eau, comme le mélange des gras et de la fécule dans les usines de féculerie. Le carbonate de chaux plus léger est entraîné le plus loin et se dépose au bas des plans inclinés. Mais dans ce cas, il faut, à la suite de cette lévigation, sécher le phosphate de chaux à nouveau, ce qui augmente les prix de revient.

On a de plus remarqué que pour que ces deux procédés mécaniques donnent de bons résultats, il faut que la craie se soit effritée à l'air pendant environ 3 mois avant le broyage. Autrement on ne peut obtenir la séparation du phosphate de chaux du carbonate.

Procédé chimique.

Il me semble utile d'indiquer ici la fabrication de l'acide phosphorique à l'aide de phosphates pauvres et ferrugineux, comme cela a lieu en Allemagne dans trois usines. Voici la description qu'en

donne M. Moreau (*Bulletin de la Société des Ingénieurs civils,* 1887) :

« Jusque dans ces dernières années, cette fabrication n'existait qu'en Allemagne où elle était pratiquée dans trois usines, qui toutes trois traitaient des phosphates pauvres et ferrugineux.

« Après séchage et broyage, ces minerais étaient attaqués par de l'acide sulfurique très étendu, de façon à dissoudre le moins possible de fer, puis les lessives boueuses étaient traitées dans des presses et concentrées dans des bassins en plomb, placés sur le canal des fumées et ensuite dans des fours dont la flamme venait lécher la partie supérieure du bain et l'amenait à une concentration de 50 à 60° Baumé. Ce liquide concentré arrivait à contenir jusqu'à 50 p. 100 d'acide phosphorique.

« Après cette concentration, ces liquides étaient versés sur des phosphates tribasiques calcaires, qu'on transformait pour la plus grande partie en phosphates monocalciques. On peut obtenir par ce procédé des phosphates dosant jusqu'à 45 p. 100 d'acide phosphorique. »

Usine Le Vavasseur.

A Breteuil, une usine, celle de M. Le Vavasseur, emploie un procédé de lévigation : je dois ajouter que le résultat est loin d'être satisfaisant. Néanmoins, comme c'est un des rares exemples que l'on rencontre en France, j'indiquerai brièvement la marche suivie.

La craie phosphatée est d'abord broyée grossièrement, puis mélangée avec de l'eau afin d'en former une bouillie très épaisse ; on fait tomber cette bouillie dans des bacs demi-cylindriques, d'une contenance de 1 mètre cube, de manière à en emplir environ 1/3. On achève de remplir le bac avec de l'eau.

Un arbre horizontal portant de fortes dents en fer recourbées agite alors la masse : après une agitation que l'on prolonge plus ou moins suivant la nature du produit et sa richesse, on laisse reposer de 5 à 12 minutes ; après quoi on décante le liquide supérieur et on recommence le lavage 3 ou 4 fois.

Finalement, après la dernière décantation, le produit phosphaté est porté au séchoir, puis pulvérisé.

Ce procédé ne donne que de mauvais résultats, car les eaux de décantation entraînent une beaucoup trop grande quantité de phosphate ; il faut en outre de très grands bassins pour les recueillir, et les manipulations sont nombreuses.

M. Boitel obtient de meilleurs résultats en cuisant la craie phosphatée, comme on cuit la craie ordinaire pour en faire la chaux. L'acide carbonique est chassé et on obtient une désagrégation très grande des nodules phosphatés et de la chaux.

Emploi de ces divers phosphates.

Le produit marchand obtenu à l'aide des phosphates de ces divers gisements est naturellement différent comme richesse et aussi comme aspect.

Le phosphate de Pernes se présente sous forme de poudre verdâtre, dosant de 15 à 17 d'acide phosphorique et vendu actuellement (1888) au prix moyen de 5 fr. 25 c. les 100 kilogr.

Il contient de la potasse en assez forte proportion, 3 à 4 p. 100, mais fort peu assimilable, étant à l'état de silicate ; le produit est très finement pulvérisé, car les appareils de l'usine de Pernes permettent de le réduire en poudre impalpable (n° 110 de la *Meunerie française*), par une mouture à haute pression.

Ce phosphate, trop pauvre pour être transformé en superphosphate, est livré directement à l'agriculture et a donné de bons résultats.

Le phosphate de Quiévy a une couleur rouge due à l'oxydation du fer lors de la dessiccation. Son état de pulvérisation est aussi très grand. Il renferme de 13 à 15 d'acide phosphorique et est vendu au prix de 4 fr. les 100 kilogr.

Si on applique aux divers phosphates fossiles du commerce la méthode dite « de l'assimilabilité relative » proposée par M. Joulie, la solubilité du phosphate de Quiévy atteint en moyenne dans l'oxalate d'ammoniaque 82.29 p. 100, chiffre beaucoup plus élevé que celui obtenu avec les autres phosphatés fossiles.

Les produits phosphatés provenant des gisements de la Somme et de Breteuil sont offerts avec des titres et des prix très différents.

Ainsi pour les sables, en 1887, les prix étaient :

TITRE.	PhO^5.	
60/65 p. 100	27 à 30	0f,17
65/70 —	30 à 32	0,19
70/75 —	32 à 34	0,22
75/80 —	34 à 36	0,25

Le syndicat des agriculteurs de la Somme livre aux prix suivants les phosphates pauvres de Beauval, 1888.

36/42 p. 100 de $PhO^5, 3CaO$.	2f,40	les 100 kilogr.
42/48 —	2,90	—
48/54 —	3,40	—
54/60 —	3,90	—

La différence du prix de l'unité de l'acide phosphorique varie donc suivant la richesse. Les phosphates riches de la Somme sont en effet très recherchés pour la fabrication des superphosphates. Les Anglais en achètent pour cet usage une cinquantaine de wagons par jour, expédiés en partie par Boulogne, en partie par Dunkerque et le Tréport.

Tous les phosphates riches de la Somme sont transformés en superphosphates ; du reste, les essais faits par les agriculteurs à l'aide de ces sables riches phosphatés de Beauval, n'ont donné que des résultats médiocres, sinon nuls. D'un autre côté, la belle étude de ces sables faite au microscope par MM. Stan. Meunier et Termier, et décrite par M. Olry, a montré « que leur texture, en partie cristalline, devait les rendre assez difficilement assimilables par les végétaux[1] ». Je dois ajouter que souvent leur degré de finesse laisse à désirer.

Les craies phosphatées de Breteuil, dosant de 30 à 35 de phosphate de chaux, sont vendues au prix de 2 fr. 50 c. les 100 kilogr. en moyenne ; les résultats obtenus par des cultivateurs nombreux et sérieux semblent devoir consacrer leur emploi en agriculture.

---

1. Olry, *les Phosphates de chaux et les établissements Paul Dessailly.*

Mais ces divers produits de la Somme se présentent avec une couleur blanc grisâtre. Or, les cultivateurs, habitués à employer des phosphates de couleur verte ou bleuâtre, refusent de les acheter.

Les étrangers semblent avoir une idée plus exacte de la valeur des phosphates. Les Suisses, les Italiens, les Allemands surtout achètent les phosphates pauvres de la Somme ; on me disait dernièrement qu'un industriel allemand venait d'acheter à Beauval et dans les environs tout ce qu'il avait pu trouver de phosphate dosant 50 p. 100.

Il faut croire, du reste, que les agriculteurs de notre pays ne connaissent pas la valeur de ce précieux engrais. C'est ainsi qu'à Beauval, Orville et les environs, on ne peut vous indiquer un cultivateur qui ait employé ces phosphates dans ses terres argileuses et bieffeuses, d'ordinaire fort pauvres en acide phosphorique ; dans les environs de Doullens, on recouvre de déblais la craie dosant 30 à 35 p. 100 de phosphate de chaux ; à Breteuil, les dépôts laissés par les eaux à la suite du traitement pour enrichir la craie ; encore très riches en acide phosphorique ne sont point utilisés ; à Hallencourt, un sable formé de débris de coquilles et dosant 3 p. 100 d'acide phosphorique et 50 de chaux est employé de temps immémorial pour fabriquer du mortier et non comme amendement dans les terres argileuses voisines.

En parcourant ces divers gisements du nord de la France, on ne peut se défendre d'un sentiment de tristesse en voyant la façon barbare dont on exploite trop souvent les phosphates. Il semble qu'un sable, qu'une craie qui ne dose que 7 à 8 p. 100 d'acide phosphorique ne puisse servir à rien ; or, les endroits où ces gisements peu riches se rencontrent sont nombreux. M. Fuchs, dans sa belle étude sur les phosphates, dit à ce sujet[1] : « La surface occupée par des lambeaux demeurés intacts de ces deux niveaux de craie phosphatifère, situés à la base et au sommet du sénonien se chiffre par milliers d'hectares ; c'est donc par milliers de tonnes que se comptent les minerais phosphatés qu'ils renferment. »

Au-dessus de ces craies phosphatées se sont déposés les glaises,

1. Fuchs, *Gisements de phosphate de chaux du nord de la France.*

sables et grès de l'argile plastique, l'argile à silex et enfin le limon dit limon des plateaux. La terre végétale formée par ces divers dépôts, a besoin en général de chaux et d'acide phosphorique.

Dans la Somme, on a remarqué à la suite de nombreux essais que le sol arable formé par les sables de l'éocène et caractérisé par la présence des grès que l'on rencontre, par exemple, dans les environs de Vignacourt, Ham, Montdidier, exigeait l'emploi abondant d'acide phosphorique.

Quant à cette couche de limon d'un brun rouge foncé dite terre à betteraves du Nord, qui se distingue par l'absence de tout élément calcaire, les cultivateurs ont reconnu depuis longtemps la nécessité de la marner. Aussi les voit-on, sur les plateaux de Picardie, par exemple, creuser dans leur champ des puits de 10 à 12 mètres de profondeur, pour aller chercher la craie sous l'argile à silex. Cette craie, en morceaux souvent assez durs, est étendue sur le champ avant l'hiver, pour qu'elle se délite à la suite des gels et dégels.

Les bons cultivateurs flamands viennent de 30 et 40 kilomètres, me disait-on, depuis les semailles de mars à la moisson, chercher la marne dans les carrières ouvertes sur le flanc des collines de craie de l'Artois.

Il est à souhaiter que les agriculteurs comprennent l'avantage qu'ils auraient à employer des craies ou des sables phosphatés souvent si voisins de la ferme, et qui, en donnant à leur terre la chaux dont elle manque, les dispenseraient d'acheter les superphosphates dont ils sèment aujourd'hui de si grandes quantités pour obtenir soit du blé, soit des betteraves.

Mais, ce sont les prairies tourbeuses des vallées de la Somme, de la Noye, de l'Ancre qui réclament surtout l'emploi de phosphates de chaux ; l'humus et l'azote s'y sont accumulés depuis l'époque quaternaire et ne demandent qu'un peu de cette craie phosphatée que l'on perd volontairement, pour transformer en gras herbages ces marais où ne poussent guère aujourd'hui que des roseaux ; l'expérience a été faite depuis longtemps en Bretagne, et l'on a complètement changé la valeur des terres tourbeuses et des landes par le phosphate de chaux.

Remarque. — Dans une terre tourbeuse de Longueau (Somme),

avec l'emploi de phosphate de chaux comme engrais, on a pu obtenir ces quatre dernières années 4 récoltes successives de blé de 50 à 60 hectolitres.

Des pommes de terre plantées dans un terrain bourbeux phosphaté ont donné un rendement d'un tiers plus élevé que dans la partie non phosphatée, et dans le 1er cas une densité de 1070, de 1063 dans le second.

La Picardie, l'Artois et la Flandre sont des régions qui produisent beaucoup de blés et encore plus de betteraves ; quelle que puisse être la richesse de certaines terres exceptionnelles en acide phosphorique, les cultivateurs ne doivent pas oublier que chaque récolte en enlève une certaine quantité et qu'il faudra restituer à cette terre le phosphate de chaux. Qu'ils sachent donc profiter de ces riches et nombreux gisements qu'ils rencontrent aujourd'hui si près de leur ferme, et qu'ils ne laissent pas ainsi exporter au delà de nos frontières, un engrais si précieux, qui ira enrichir un sol étranger.

LES

ÉCOLES PRIMAIRES DE SYLVICULTURE

EN BAVIÈRE[1]

On sait qu'en vertu d'une ordonnance royale du 19 février 1885, l'administration des forêts de Bavière a été réorganisée sur le type prussien[2].

L'article 34, § 2, de cette ordonnance portait qu'il serait créé auprès des maîtrises de Kelheim, Trippstadt, Wunsiedel, Lohr et Kaufbeuren, c'est-à-dire au centre de chacune des cinq principales régions forestières du royaume, des écoles pratiques de sylviculture, destinées à former des préposés et où la durée de l'enseignement serait de quatre années.

Ces établissements primaires d'enseignement professionnel ont commencé à fonctionner en octobre 1888. Nous allons esquisser ci-après leur organisation et indiquer, en même temps, les disposi-

1. *Royaume de Bavière.* — Superficie totale : 7 586 349 hectares.
Population au 1er décembre 1880 : 5 284 778 habitants.
Surface boisée :

	HECTARES.
1 Forêts domaniales, y compris 18 415 hectares situés en Autriche	935 677
2 Forêts du domaine privé du roi.	9 272
3 Forêts de communes et d'établissements publics	385 600
4 Forêts de particuliers.	1 273 167
Total	2 603 716

Le rendement moyen des forêts domaniales de Bavière s'élève à 3 712 290 stères. Le facteur à employer pour convertir ce rendement en mètres cubes est environ 0.77.

2. Voir à ce sujet le rapport de mission de MM. Boppe et Reuss, *Bulletin du Ministère de l'agriculture, direction des forêts,* fascicule D. — Paris, Imprimerie nationale, 1887.

tions transitoires qui ont été prises, par arrêté ministériel en date du 18 mai dernier, à l'égard des élèves admis pour l'année scolaire 1888-89. Il sera intéressant de rapprocher les règlements bavarois relatifs à l'instruction du personnel forestier inférieur de ceux qui sont en vigueur en France et qui concernent les écoles primaire et secondaire installées aux Barres-Vilmorin.

I. — But des écoles et dispositions générales.

Les écoles ont pour but de former des employés subalternes, chargés de surveiller les forêts de l'État et de seconder les agents dans la gestion proprement dite.

Elles doivent permettre aux élèves de se procurer la somme de connaissances générales et spéciales indispensable pour l'exercice de leur profession future. Elles ont également pour mission de développer la moralité des jeunes gens, de les habituer à l'obéissance, à l'exactitude, à l'application, aux fatigues physiques, enfin d'éveiller en eux le goût du métier et l'amour de la forêt.

Ces écoles, dans chacune desquelles il est établi 4 divisions correspondant à 4 années d'enseignement, sont des écoles professionnelles spéciales, dépendant de l'administration des forêts de l'État. Le certificat d'études qu'on y délivre n'ouvre pas les portes du volontariat d'un an.

Elles sont installées au siège d'une maîtrise forestière, sont sous la direction immédiate d'un maître des forêts et ressortissent à la chambre des finances (section forestière) de la régence provinciale[1].

La haute surveillance des écoles de sylviculture est exercée par le ministre des finances.

II. — Programme de l'enseignement et personnel enseignant.

L'*enseignement obligatoire* comprend :

A. — L'instruction religieuse.

B. — Les éléments de ce qu'on appelle en Allemagne l'enseigne-

1. En ce qui concerne le rôle des maîtrises forestières et les attributions des conseils de régence, voir le travail précité de MM. Boppe et Reuss.

ment *réel* (calligraphie, langue allemande, calcul, géographie et histoire, sciences naturelles et dessin).

C. — L'enseignement professionnel.

L'enseignement *réel* élémentaire est surtout délivré aux élèves des deux divisions inférieures, l'enseignement professionnel à ceux des deux autres divisions. En ce qui concerne l'instruction religieuse, les auteurs du règlement se réfèrent à des dispositions spéciales, existant déjà sur la matière.

L'enseignement *réel* a pour but de renforcer et d'étendre les connaissances acquises à l'école primaire ; il doit avoir en vue les besoins de la vie pratique et la préparation à l'enseignement professionnel. L'enseignement de l'histoire naturelle est surtout destiné à frapper les yeux et il consistera en de nombreuses tournées en forêt.

L'enseignement professionnel tiendra exactement compte, dans toutes ses branches, de la faculté de compréhension des élèves ; il visera les applications immédiates et aura un caractère pratique très accusé. Il sera délivré partie dans le bâtiment de l'école, partie en forêt, sous la forme de démonstrations pratiques et d'exercices.

Les principaux objets de cet enseignement seront les suivants :

1. — Arpentage, levé et calcul de la contenance des coupes, cubage des arbres, des fossés, des dépôts de tourbe et des carrières ; — calcul du nombre de plants nécessaire, suivant leur espacement, pour garnir un terrain nu ; nivellement et mesurage de la hauteur des arbres à l'aide d'instruments peu compliqués.

2. — Détermination, d'après leurs caractères extérieurs, des essences forestières indigènes et des plus importantes parmi les essences exotiques introduites en Allemagne à titre d'essai ; manière dont les essences indigènes se comportent en forêt ; détermination des graines de végétaux ligneux et des plantes nuisibles au point de vue sylvicole ; propriétés techniques des bois; emplois des principales essences feuillues et résineuses de la Bavière ; notions sur la taille et la conduite des arbres fruitiers.

3. — Distinction des principales espèces de terrains, au point de vue de leur origine géologique et de leur utilisation par l'agriculture et la sylviculture.

4. — Connaissance des diverses méthodes d'exploitation et des divers modes de régénération des forêts, ainsi que des diverses manières de conduire les coupes; — repeuplements artificiels par semis, plantation, bouture et marcotte; — éducation des jeunes plants dans les pépinières; — emploi des outils les plus usités dans les travaux de repeuplement.

5. — Abatage des arbres, façonnage, classement et débardage des bois; — règlements relatifs à ces opérations; — notions pratiques sur la construction des chemins; — récolte et conservation des graines forestières; écorçage; données essentielles sur l'enlèvement de la litière, l'extraction de la tourbe, le ramassage du bois mort, le pâturage en forêt et la coupe d'herbes.

6. — Dégâts causés aux forêts par les hommes, les animaux, les végétaux et les météores; — mesures à prendre pour prévenir ces dégâts ou pour s'en garantir; — dispositions du Code forestier et des règlements administratifs concernant les préposés forestiers.

7. — Soins à donner à la chasse et exploitation de celle-ci conformément aux règles de l'art; dispositions des lois et ordonnances relatives à la constatation et à la répression des délits de chasse, ainsi qu'à la réparation du dommage causé par le gibier; exercices de tir (pour les élèves des deux divisions supérieures seulement).

8. — Notions très sommaires d'aménagement, prescriptions administratives se rapportant à l'assiette des parcelles sur le terrain et à la partie matérielle du cubage des peuplements; esprit et but de la confection de l'état d'assiette annuel des coupes et des travaux [1].

---

1. Sous le nom d'*État* emprunté à notre langue, chaque gérant autonome et responsable (*Forstmeister*) dresse, pour l'exercice à venir, un état des coupes à asseoir dans sa circonscription, ainsi que des repeuplements artificiels et des travaux d'amélioration à y exécuter. Cet état, qui est soumis à l'approbation de l'autorité supérieure et dont l'application est contrôlée par des *inspecteurs* (*Forsträthe*), est conforme aux prévisions du règlement spécial d'exploitation (*Specieller Wirtschafts-Plan*) établi à l'avance pour chaque duodécennie; mais les quantités de bois à couper dans la circonscription peuvent varier d'une année à l'autre, dans des limites très larges; elles dépendent des circonstances, et la *possibilité* n'est fixée qu'en bloc pour la durée d'une duodécennie entière. Voir, du reste, à ce sujet, *la Forêt du Spessart*, par MM. Boppe et Reuss. (*Annales de la science agronomique française et étrangère*, tome II, 1885.)

9. — Instructions de service pour les employés subalternes de l'administration des forêts de l'État en Bavière.

10. — Formalités relatives aux procès-verbaux ; rédaction des rapports de service ; tenue du livre-journal, des états de dénombrement, des sommiers concernant les coupes, des états de journée des bûcherons, des cahiers de vente, des états de délivrance de menus produits ; des relevés de pièces de gibier abattues, etc.

11. — Dessin : dessin à mainlevée ; dessin au tire-ligne ; dessin des plans ; principalement copie des plans ou cartes d'aménagement ; établissement de croquis à adjoindre aux dossiers concernant l'acquisition des terrains, etc.

12. — Notions de droit usuel.

Les heures de classe correspondant aux diverses matières du programme sont fixées, pour chaque semestre et pour chaque division, par un tableau journalier de l'emploi du temps, qui doit être en harmonie avec le tableau hebdomadaire général que voici :

PRINCIPAUX GROUPES de matières d'enseignement.	NOMBRE DES HEURES consacrées par semaine à l'enseignement.				OBSERVATIONS.
	1re division.	2e division.	3e division.	4e division.	
A. *Instruction religieuse*.	2	2	2	2	[a] Ces classes seront consacrées à donner aux élèves les notions dont ils ont besoin pour prendre utilement part aux excursions.
	en commun		en commun		
B. *Enseignement* RÉEL.	11	9	5	3	
C. *Enseignement professionnel* :					
a) Connaissances fondamentales et connaissances accessoires de la science forestière[1]. . .	1[a]	2[a]	3	3	
b) Connaissances principales[1]. .	1[a]	2[a]	5	7	
Nombre total d'heures de classes par semaine	15	15	15	15	

1. En ce qui concerne la division des matières de l'enseignement professionnel en matières *fondamentales* (*Grundfæcher*), *principales* (*Hauptfæcher*) et *accessoires* (*Hilfsfæcher*), voir *l'Enseignement forestier en Autriche et en Bavière*, par MM. Boppe et Reuss. (*Annales de la Science agronomique française et étrangère*, tome II, 1885.)

Sans préjudice de cet enseignement délivré dans le bâtiment de

l'école, on fera faire aux élèves des quatre années le plus grand nombre possible de tournées et d'exercices pratiques en forêt.

Là où les circonstances le permettront, on cherchera à leur enseigner, à titre de matières facultatives, la gymnastique et la natation.

Des arrêtés ministériels régleront de plus près : la répartition des matières du programme entre les différentes divisions et les différents semestres ; l'organisation des excursions et des exercices pratiques ; les méthodes d'enseignement à employer en classe et sur le terrain, enfin les livres et autres moyens d'enseignement à mettre entre les mains des élèves.

Le personnel chargé d'enseigner les matières obligatoires comprend, dans chaque école :

1° Le maître des forêts local ;

2° Un assistant de maîtrise adjoint au maître spécialement en vue de l'enseignement ;

3° Un prêtre catholique et un ministre protestant appelés à donner l'instruction religieuse ;

4° Un instituteur ou un maître d'une école *réelle* publique, à qui incombera l'enseignement *réel*. Dans certaines circonstances, et conformément au règlement général du 29 septembre 1866 sur le recrutement des instituteurs, l'enseignement *réel* pourra être confié aux ecclésiastiques chargés de l'instruction religieuse.

Les personnes énumérées ci-dessus constituent le « conseil d'instruction ».

En ce qui concerne l'enseignement de la gymnastique et de la natation, on pourra avoir recours à des personnes qui offriront des garanties suffisantes au point de vue de leurs connaissances théoriques et de leurs aptitudes physiques en ces matières.

III. — Admission à l'école.

Les candidats sont libres, sous les réserves suivantes, de choisir l'une quelconque des écoles de sylviculture établies dans le royaume.

On n'est admis que dans la division inférieure (la 1re).

Le nombre des élèves à recevoir chaque année dans la 1re division ne doit pas, en règle générale, dépasser 10.

Le ministre des finances se réserve, d'ailleurs, le droit de fixer périodiquement le nombre des élèves à admettre, d'après les besoins du service, comme aussi de décider que les élèves reconnus aptes à entrer dans une école seront envoyés dans une autre moins encombrée.

Les conditions requises pour l'admission sont :

1. — La qualité de citoyen bavarois ;

2. — Un certificat d'études primaires avec un certificat de bonne vie et mœurs ;

3. — La preuve que le candidat a plus de 14 ans et n'a pas dépassé 16 ans ;

4. — Un certificat de vaccine et un certificat délivré par un médecin assermenté constatant que le candidat n'a pas d'infirmités physiques et qu'il n'est atteint ni de myopie ni de surdité ;

5. — La justification de l'existence des ressources nécessaires au candidat pour se nourrir, se vêtir et se procurer les fournitures scolaires pendant les 4 années qu'il passera à l'école ;

6. — Un examen d'admission portant sur les matières de l'enseignement primaire. Cet examen a surtout pour but, au cas où le nombre des entrées serait limité par les besoins du service, de ne recevoir à l'école que les meilleurs sujets.

L'élève une fois inscrit à une école peut passer successivement dans les quatre divisions, pourvu qu'il s'annonce chaque année en temps utile.

Tout élève, lorsque ses parents changent de résidence ou qu'il y a d'autres motifs sérieux à invoquer, peut, de son côté, changer d'école avec l'autorisation du conseil de régence.

Si le directeur de l'école, éclairé par l'avis d'un médecin, s'aperçoit qu'un élève contracte des infirmités physiques qui le rendront impropre au service forestier, il devra informer le père ou le tuteur du jeune homme du peu de chance qu'a celui-ci d'être reçu dans l'administration.

Il n'y a pas d'élèves libres aux écoles de sylviculture.

IV. — Discipline.

On exige des élèves : un zèle constant, une moralité irréprochable, une obéissance complète, une attitude respectueuse vis-à-vis des différents professeurs de l'école ; de bons procédés à l'égard de leurs camarades, une tenue digne et correcte en public.

Le choix des familles auprès desquelles les élèves désirent chercher le vivre et le couvert est soumis au directeur de l'école.

Les élèves sont tenus d'assister, les dimanches et jours fériés, aux offices de leur culte.

Ils ne peuvent assister à des chasses qu'avec l'autorisation du directeur. Ils ne peuvent pas non plus s'exercer au tir en dehors des heures réglementaires.

Voici les peines établies pour le maintien de la discipline.

1. — Peines prononcées par un professeur quelconque :

Réprimande verbale ;

Arrêts à domicile, — en dehors des heures d'enseignement, — jusqu'à concurrence d'une demi-journée ;

Arrêts à l'école, — en dehors des heures d'enseignement, — pendant 2 heures au maximum, avec un pensum approprié à la durée des arrêts.

2. — Peines prononcées, par le directeur seulement, en sus des précédentes :

Prison (arrêts dans une chambre fermée à clé) pendant 6 heures au maximum ;

Menace de renvoi, les parents ou tuteurs étant prévenus.

3. — Peine prononcée par la section forestière du conseil de régence, sur la proposition du conseil d'instruction :

Renvoi.

Le renvoi peut être prononcé contre un élève qui a commis une faute grave, ou qui a une mauvaise conduite habituelle, ou qui manque de zèle, d'exactitude ; ou qui a été inutilement averti et puni plusieurs fois par le directeur pour désobéissance.

Un élève renvoyé ne peut plus être reçu dans aucune école de sylviculture.

V. — Durée et fractionnement de l'année scolaire. Vacances.

L'enseignement commence pour toutes les divisions au 1er octobre de chaque année.

Le 1er semestre (semestre d'hiver) se termine au vendredi qui précède le dimanche des Rameaux.

Le 2e (semestre d'été) commence au mardi qui suit la semaine de Pâques et se clôt au 31 juillet pour tous les élèves, sauf ceux qui subissent les épreuves de sortie.

Pendant le semestre d'hiver, l'enseignement est suspendu du 23 décembre au 2 janvier.

Il n'y a ni classe ni excursion en forêt, il ne peut y avoir qu'instruction religieuse les dimanches et jours fériés.

VI. — Examens et certificats.

On subit, dans les écoles de sylviculture, des *examens d'entrée* et des *examens de sortie.*

Un *examen d'entrée* a lieu chaque année du 1er au 8 août (voir plus haut). Les candidats qui veulent s'y présenter doivent adresser au directeur de l'école leur demande appuyée des pièces justificatives.

Le directeur examine la validité des demandes, et si elles sont acceptables, il indique au candidat la date de l'examen.

L'*examen de sortie* a pour but de vérifier si les élèves de 4e année sont aptes à devenir préposés.

Il embrasse toutes les matières enseignées à l'école et comprend des épreuves écrites et des épreuves orales.

Les *épreuves écrites* sont surtout destinées à faire voir si les élèves ont des connaissances suffisantes en matière d'enseignement *réel* et en ce qui concerne la rédaction des documents administratifs. Elles ont lieu dans la seconde moitié de juillet et durent 3 jours. Les sujets de composition sont choisis par le conseil d'instruction.

Les *épreuves orales* portent aussi bien sur les matières ayant déjà fait l'objet de l'examen écrit que sur les autres.

Elles sont passées devant une commission dont il va être question tout à l'heure. Elles ont lieu au commencement d'août, partie à l'école et partie en forêt. Chaque élève est interrogé pendant une heure sur le terrain et pendant une heure au cabinet. Les interrogations au cabinet sont confiées, en règle générale, au professeur qui a enseigné la matière sur laquelle elles portent.

Il est formé une commission d'examen chargée de faire subir les épreuves orales, d'arrêter les résultats de ces épreuves ainsi que des épreuves écrites, enfin de donner aux élèves sortants les autres notes qui doivent leur être attribuées.

Cette commission se compose :

1° Du conseiller supérieur des forêts de la régence provinciale où est située l'école [1] (ou de son représentant) ;

2° Du directeur de l'école ;

3° Des autres professeurs.

La présidence appartient au conseiller supérieur ou à son représentant ; éventuellement à un délégué du ministère.

Le président a voix prépondérante en cas de parité des suffrages.

L'école délivre les bulletins ou certificats suivants :

1. — Bulletin semestriel.

2. — Bulletin de fin d'année (pour les élèves des 3 divisions inférieures).

3. — Certificat de sortie.

Le *bulletin semestriel* renferme un jugement général sur le zèle, la conduite et les résultats du travail de l'élève.

Le *bulletin de fin d'année* reproduit les notes spéciales obtenues par l'élève dans chaque matière obligatoire et la note générale qui résume les précédentes ; il contient aussi les notes d'application, d'instruction religieuse et de moralité ; enfin il constate si l'élève a ou n'a pas l'autorisation de passer dans la division supérieure.

Le *certificat de sortie* renferme : les notes délivrées à l'examen de sortie pour toutes les matières obligatoires et le total des points qui en résultent ; la note de classement général, la note de travail ; celle

---

1. Le conseiller supérieur des forêts (*Oberforstrath*) correspond à peu près à notre conservateur (voir Boppe et Reuss, *loc. cit.*).

d'instruction religieuse et de moralité ; les remarques auxquelles a pu donner lieu la participation de l'élève à l'enseignement facultatif ; enfin la constatation de l'aptitude du jeune homme à entrer au service de l'État.

Les élèves qui n'ont pas satisfait à l'examen de sortie reçoivent, dans la forme d'un bulletin de fin d'année, une pièce constatant cet insuccès.

Les notations à employer dans les bulletins de fin d'année et dans les certificats de sortie pour exprimer les résultats obtenus dans chaque matière, ainsi que pour qualifier le zèle et les progrès réalisés sont :

1. — Très bien.
2. — Bien.
3. — Médiocre.
4. — Mauvais.

Les notes relatives au zèle et aux progrès, à insérer dans les bulletins de fin d'année, ne doivent pas seulement dépendre des devoirs écrits rédigés par l'élève dans le courant de l'année scolaire, mais aussi de la manière dont il a répondu aux interrogations verbales, dans les répétitions, les excursions en forêt, etc.

On établit d'une façon analogue les notes relatives au zèle et aux progrès de l'élève pendant tout son séjour à l'école, notes à consigner dans le certificat de sortie.

Une année d'enseignement ne peut être recommencée qu'une seule fois.

Il n'est pas permis de redoubler deux divisions consécutives.

Quand un examen de sortie a donné des résultats insuffisants (note 4), et que le candidat malheureux a déjà redoublé la 3e division, il peut subir encore un nouvel examen au bout d'un an. Le redoublement de la 4e division est alors facultatif.

Les élèves qui, conformément aux dispositions ci-dessus, n'ont plus l'autorisation de redoubler une année, sont obligés de quitter l'établissement et ne peuvent plus entrer dans aucune autre école de sylviculture.

Les élèves qui, par suite d'un événement de force majeure, n'ont point pu prendre part à l'examen général de sortie, sont admis,

avec l'autorisation de la section forestière du conseil de régence, à subir un examen séparé.

Les personnes qui n'auraient pas passé régulièrement par les 4 divisions seraient absolument inaptes à se présenter à l'examen de sortie.

VII. — Taxes d'admission, de scolarité et de délivrance de certificats.

Chaque élève est tenu d'acquitter une fois pour toutes un droit d'admission de 3 fr. 75; puis une taxe scolaire annuelle de 25 fr. (payable en 10 termes mensuels).

Le bulletin semestriel coûte 0 fr. 65; le bulletin de fin d'année 1 fr. 25 et le certificat de sortie 2 fr. 50.

Ces sommes sont versées dans la caisse de l'école pour subvenir aux frais qu'elle nécessite.

Personne ne peut être exempté de leur paiement.

VIII. — Attributions spéciales des agents forestiers en ce qui concerne l'école.

Le conseiller supérieur des forêts, ou son représentant, se rend compte, par de fréquentes visites, de l'état de l'école, de l'activité qui y règne, de la composition du matériel d'enseignement et des lacunes qu'il présente, de la discipline qu'y observent les élèves. S'il constate des vices ou des abus, il les signale, dans un rapport, à la section forestière du conseil de régence et propose les moyens d'y remédier.

Les inspecteurs chargés de contrôler la maîtrise forestière à laquelle est adjointe l'école sont aussi tenus, conformément à l'article 16, § 2, de l'instruction du 3 juin 1885 sur le service d'inspection, de visiter l'école, par délégation ou en remplacement du conseiller supérieur.

Au directeur de l'école incombent, en dehors de la haute surveillance de l'établissement, les obligations suivantes :

1. — Diriger les examens d'entrée et la partie écrite des examens de sortie;

2. — Décider des admissions, ou en référer à l'autorité supérieure dans les cas où toutes les conditions requises ne paraissent pas remplies ;

3. — Fixer tous les ans, de concert avec les professeurs, le tableau journalier de l'emploi du temps pour chaque matière, et le porter à la connaissance de la section forestière du conseil de régence provinciale ;

4. — S'assurer que les classes, les excursions et les exercices pratiques ont lieu conformément au programme ;

5. — Maintenir la discipline parmi les élèves ;

6. — Délivrer les mandats de recettes et de dépenses dans les limites du budget et veiller à ce que les crédits accordés reçoivent leur emploi réglementaire ;

7. — Faire dresser et soumettre à l'autorité supérieure les pièces de comptabilité ;

8. — Rédiger un rapport annuel sur la fréquentation de l'école et l'exécution du programme d'enseignement ; y joindre les propositions nécessaires ;

9. — Ouvrir et clore l'année scolaire ;

10. — Convoquer le conseil d'instruction en cas de besoin et en diriger les débats.

L'assistant de maîtrise spécialement attaché à l'école a pour tâche :

1. — De donner l'enseignement professionnel réglementaire dans les 4 divisions, en tenant compte des indications qu'il recevra à cet égard ; de prendre part surtout aux exercices pratiques en forêt ;

2. — De seconder le directeur de l'école dans toute sa besogne, notamment dans le maintien de la discipline parmi les élèves ;

3. — De percevoir les taxes d'admission, de scolarité et de délivrance de certificats et de les verser dans la caisse ;

4. — D'établir les pièces de comptabilité ;

5. — De coopérer avec le directeur à la correspondance relative à l'école et de préparer notamment le rapport annuel de gestion ;

6. — De remplacer éventuellement le directeur dans toutes les attributions de celui-ci concernant l'école.

IX. — Dispositions transitoires.

Les écoles de sylviculture ont dû commencer à fonctionner le 1er octobre 1888, mais seules les 3 divisions inférieures ont été pourvues d'élèves. Le premier examen de sortie aura donc lieu en 1890.

Il a été décidé, pour l'année scolaire 1888-89 :

1° Que l'on admettrait à subir un examen en vue d'entrer immédiatement dans la 3e division, les élèves qui auraient suivi avec fruit les cours de 3e année d'une *école réelle*, ou ceux de 4e année d'une *école latine* ou enfin ceux de 1re année d'un *gymnase réel ;*

2° Qu'un examen analogue permettant d'entrer de plain-pied dans la 2e division de l'école de sylviculture pourrait être passé par les élèves ayant fini leur deuxième année d'*école réelle* ou leur troisième année d'*école latine ;*

3° Enfin que les élèves desdits établissements d'enseignement secondaire qui ne rempliraient pas les conditions susmentionnées, ainsi que les candidats pourvus seulement du certificat d'études primaires, seraient seulement autorisés à se présenter aux examens d'entrée donnant accès à la 1re division de l'école de sylviculture.

E. Reuss.

CONTRIBUTION
A
L'ÉTUDE DU BLÉ

Par G.-V. GAROLA

PROFESSEUR DÉPARTEMENTAL D'AGRICULTURE
DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE DE CHARTRES



Depuis plusieurs années, de concert avec un agriculteur des plus distingués d'Eure-et-Loir, M. Omer Benoist, notre ami, nous nous livrons à la culture comparative de nombreuses variétés de blés d'élite, en les plaçant toutes dans les mêmes conditions de climat, de sol, de culture et d'engrais, afin de pouvoir juger de leur valeur relative au point de vue de l'agriculture beauceronne. Les résultats culturaux de nos trois premières années d'essais ont été publiés, en 1888, dans nos rapports sur les champs d'expériences et de démonstration. Les résultats de la récolte de 1888 seront publiés de même en 1889.

Nous avons pensé qu'outre les recherches culturales proprement dites, il ne serait pas inutile de nous livrer à quelques recherches de laboratoire, afin de déterminer, à côté de la valeur brute que nous donnent nos études antérieures, la valeur alimentaire réelle de chacune de nos variétés. L'analyse des vingt-huit variétés que nous avons cultivées en 1886-87 a été entreprise dans ce but. Les résultats que nous avons obtenus sur ces variétés nombreuses et placées absolument dans les mêmes conditions de végétation, si on les rapproche des rendements constatés, donneront la mesure des variations de composition dues à l'influence héréditaire de la va-

riété d'une part, et de l'autre des écarts que l'on peut observer dans les prélèvements de substances fertilisantes dont sont capables des organismes voisins, mais bien différenciés par leurs caractères extérieurs, leurs aptitudes et leur généalogie.

Depuis que nous avons entrepris ces recherches, M. A. Pagnoul a publié dans les *Annales agronomiques* une étude intitulée : « Richesse et densité du blé ». On nous permettra de faire remarquer que, dans sa conception et ses détails, ce travail, si intéressant, diffère entièrement du nôtre. On y a examiné, en effet, de très nombreuses variétés de blés, *d'origines différentes*, sous le rapport principalement de l'azote, de l'acide phosphorique et de la densité. Nous nous sommes occupé au contraire de variétés différentes, *cultivées dans les mêmes conditions de sol, de climat et d'engrais depuis plusieurs années*. Nous n'avons eu à analyser qu'un nombre de variétés beaucoup moins grand, mais nous avons cru utile d'en faire l'analyse immédiate, et d'y déterminer la potasse, à côté de l'acide phosphorique et de l'azote.

Enfin, sauf en ce qui concerne l'azote, pour le dosage duquel nous avons eu recours comme M. Pagnoul à la méthode de Kjeldahl, les procédés que nous avons suivis sont assez différents, surtout en ce qui concerne l'acide phosphorique.

Les recherches de notre savant collègue font connaître l'amplitude des variations de l'azote et de l'acide phosphorique dans les blés produits en France et à l'étranger. Notre ambition est plus modeste, et nos analyses ne montrent que les différences de composition dues à l'action de la *variété* acclimatée dans le pays où nous avons pris nos échantillons.

II. — Rendements obtenus en 1887. Observations culturales.

Dans le tableau qui va suivre, nous avons condensé, à côté du rendement en paille et en grain de nos variétés en 1887, nos observations culturales pour cette campagne ; nous aurons ainsi bien caractérisé les conditions de développement de chacune. Le semis de tous les blés avait eu lieu le 29 octobre 1886, dans un terrain de qualité moyenne, après fourrage vert en récolte dérobée sur ja-

chère ; trois labours, fumure en bon fumier de ferme additionné de 400 kilogr. de superphosphate minéral à l'hectare.

Nous aurons l'occasion, plus tard, de reprendre l'étude agricole et la description de nos variétés, depuis le commencement de nos recherches expérimentales. Nous nous bornerons ici à donner les renseignements précis que nous avons recueillis sur les blés mêmes que nous avons analysés. Le rapprochement des résultats culturaux et des résultats analytiques permettra de reconnaître quelles sont les variétés qui produisent à l'hectare le plus de matière nutritive. Les variétés sont classées dans l'ordre de leur rendement en grain, nous conserverons cet ordre dans le tableau général des analyses pour faciliter les comparaisons.

Enfin, nous ferons observer que les noms qui servent à désigner les variétés de blés étudiées sont ceux de la nomenclature de M. H. Levêque de Vilmorin.

	VARIÉTÉS.	POIDS du grain.	POIDS de la paille.	TALLAGE.	APPARENCE en mai.		APPARENC en juin.
1	Rouge de Bordeaux.	3200	6100	Peu.	Superbe.	13	Superbe.
2	Victoria	2900	5650	Beaucoup.	Beau, un peu tardif.	21	Tige puissante et v épi superbe.
3	Dattel	2850	5200	Beaucoup.	Beau, se cotant bien.	19	Beau, de moyenne h
4	Lamed	2850	5050	Peu.	Beau, demi-hâtif.	16	Beau, teinte bleue.
5	Square head suédois	2850	5250	Énormément.	Robuste, mais trop tardif.	19	Tige grosse, courte, carré.
6	De Saumur (Gris de St-Laud).	2800	5350	Point ou peu.	Hâtif, clair.	16	Tige longue, trop ve
7	Redchaff-Dantzick	2800	5500	Beaucoup.	Végétation moyenne.	19	Tardif, dru.
8	Blanc de Mareuil	2750	5350	Modérément.	Beau, un peu tardif.	18	Tige violacée à l'ext
9	Browick	2750	4800	Beaucoup.	Tardif, très ordinaire.	21	Tige droite, relativer et grosse.
10	Blanc de Hongrie	2750	5400	Beaucoup.	Végétation moyenne.	18	Épi carré.
11	Blanc de Flandre (de Bergues).	2700	5200	Beaucoup.	Belle végétation, un peu tardive.	18	Verse à craindre.
12	Rouge de Saint-Laud	2700	4650	Point.	Hâtif, un peu clair.	16	Tige courte, raide,
13	Hickling	2700	5050	Beaucoup.	Un peu tardif.	21	Épi compact, termin
14	Richelle de Naples	2600	4750	Point.	Très hâtif.	11	Très hâtif.
15	Prince-Albert.	2550	4900	Beaucoup.	Tardif.	21	Tige vigoureuse.
16	Svalof suédois	2550	4750	Beaucoup.	Très tardif.	21	Épis superbes.
17	Rouge prolifique suédois . . .	2550	4800	Énormément.	Très tardif.	20	Paille, violacée, bea
18	Rousselin.	2550	5300	Très peu.	Hâtif.	14	Tige longue, fine, m
19	Bleu ou de Noé.	2500	4350	Très peu.	Très hâtif.	12	Teinte bleue.
20	Blé-seigle.	2500	5450	Peu.	Hâtif.	14	Paille trop longue.
21	Talavera de Bellevue	2500	5000	Peu.	Très hâtif.	11	Paille longue et flex
22	Hallet Pedigree rouge.	2450	4550	Beaucoup.	Très tardif.	21	Bel épi.
23	Hallett Pedigree White Victoria. (2e génération française.)	2450	4850	Beaucoup.	Tardif.	18	Belle végétation, be
24	Spalding	2450	5950	Beaucoup.	Tardif.	19	Ordinaire.
25	De Haie ou de Tunstall. . . .	2400	5000	Un peu.	Tardif.	19	Épis veloutés.
26	De Zélande.	2300	4300	Très peu.	Très hâtif.	10	Le premier à épier.
27	Goldendrop ou rouge d'Écosse.	2100	4300	Énormément.	Tardif.	21	Végétation faible, t
28	Trump	2050	4350	Beaucoup.	Assez avancé.	20	Demi-hâtif.

ATURITÉ.	RÉSISTANCE à l'hiver.	QUALITÉ du grain.	OBSERVATIONS.
ne.	Bonne.	Bonne.	L'année, extrêmement sèche, a été très favorable à ce blé qui n'a ni rouillé ni versé. La paille est pleine et lourde. Il est difficile à obtenir exempt d'épis barbus.
z bonne.	Bonne.	Assez bonne.	Beau et bon blé, pas assez hâtif et donnant trop de paille pour la Beauce.
z bonne.	Très bonne.	Bonne.	Belle paille mais légère; grain blanc, assez gros et court, souvent très beau. Obtenu par M. de Vilmorin par hybridation du Prince-Albert et du Chiddam à épi rouge, il a beaucoup des caractères de ce dernier.
z bonne.	Bonne.	Assez bonne.	Très facile à battre, s'est égrainé par le vent, difficile à obtenir pur. Hybridé du Prince-Albert et du Noé; il ressemble un peu au blé de Bordeaux, il est moins hâtif et la paille est plus creuse.
mauvaise.	Très bonne.	Très mauvaise.	Mauvaise variété pour le sol et le climat de la Beauce.
z bonne.	Mauvaise.	Assez bonne.	Année favorable pour ce blé à cause de la sécheresse qui a empêché la rouille et la verse auxquelles il est sujet.
z bonne.	Très bonne.	Assez bonne.	Paille blanche, haute; épi d'un blanc rougeâtre; grain blanc, court, petit. Variété tardive, convient aux terres riches et profondes.
ne.	Bonne.	Bonne.	Paille blanche, pleine, lourde et souple; grain blanc, allongé et effilé aux extrémités, très beau; convient aux terres moyennes, surtout chaudes et calcaires.
ocre.	Bonne.	Assez bonne.	Épi rouge, tassé comme une massue; grain rouge, gros. Variété résistant bien à la verse, qui conviendrait bien à la Beauce si elle était plus hâtive.
z bonne.	Bonne.	Médiocre.	Paille blanche, de hauteur moyenne; grain blanc, court, un peu glacé. Convient aux sols légers et calcaires, n'est pas trop sujet à la rouille et à la verse.
ocre.	Bonne.	Médiocre.	Paille blanche, abondante; bel épi; grain blanc, long et gros, donne de grands rendements dans les bonnes terres des pays à climat tempéré, aurait versé sans la sécheresse.
z bonne.	Mauvaise.	Assez bonne.	Paille courte et raide; épi carré, tassé, court, craint peu la verse, beaucoup la rouille, s'écourte à la moisson.
aise.	Bonne.	Mauvaise.	Paille de hauteur moyenne, blanche, assez raide; grain d'un blanc jaune. Convient aux terres saines et calcaires.
e.	Mauvaise.	Très bonne.	Paille blanche, très flexible; grain très gros, allongé, blanc. Ce beau blé craint la rouille, la verse et le froid.
mauvaise.	Bonne.	Très mauvaise.	Paille grosse, longue, feuillue; grain rouge, souvent très maigre, tardif, sujet à la verse et à l'échaudage.
ocre.	Bonne.	Médiocre.	Ce blé, offert par la Suède à M. Schribaux pour le comparer avec les meilleurs de nos pays, est du Victoria; il en a les qualités et les défauts.
aise.	Très bonne.	Mauvaise.	Ce blé est certainement du rouge d'Écosse ou Goldendrop.
z bonne.	Médiocre.	Assez bonne.	Paille trop longue, trop fine et trop molle, se casse à la maturité; grain allongé, très gros, blanc, très sujet à la rouille et à la verse.
e.	Médiocre.	Bonne.	S'est trouvé trop clair, n'a pas rouillé grâce à la sécheresse.
aise.	Bonne.	Médiocre.	Paille très haute et molle, sujette à verser; épi rouge brun; grain rouge, souvent maigre. Conviendrait aux terres maigres et pauvres.
ocre.	Médiocre.	Assez bonne.	Paille blanche, haute et fine; épi long, mince et lâche; grain blanc, allongé, très beau, sensible au froid, à la verse, à la rouille.
aise.	Bonne.	Médiocre.	Paille blanche; épi superbe; grain rouge, trop tardif, ressemble au Victoria mais plus tardif encore.
aise.	Bonne.	Médiocre.	Mêmes qualités et mêmes défauts que le Victoria.
aise.	Bonne.	Mauvaise.	Paille assez haute, assez forte; grain rouge, souvent maigre, d'origine anglaise, il est rustique et peu exigeant.
ocre.	Assez bonne	Médiocre.	Paille blanche, courte; épi blanc, couvert de duvet; grain blanc et mince.
e.	Mauvaise.	Assez bonne.	Paille blanche, longue; épi très lâche; gros grain blanc, très sensible au froid.
aise.	Très bonne.	Très mauvaise.	Ce blé est très rustique, supporte les hivers les plus rigoureux, mais donne un grain souvent glacé, peu estimé par la meunerie.
aise.	Bonne.	Mauvaise.	Épi maigre et léger.

III. — Étude physique du grain.

Ainsi que nous l'avions fait dans une étude sur la valeur alimentaire de diverses variétés d'avoine, publiée dans le *Bulletin du Ministère de l'Agriculture* (année 1887, page 842), nous avons commencé par étudier les caractères physiques des grains que nous avions à analyser. Le tableau n° 2, que nous donnons ci-après, renferme les résultats obtenus.

Le poids du litre a été pris en faisant tomber naturellement le grain dans la mesure, sans tassement, puis en opérant l'arasement avec un cylindre, comme on fait dans la pratique courante.

Le volume des grains, abstraction faite des vides laissés entre eux, a été déterminé en introduisant, dans un ballon jaugé de 100 centimètres cubes, les 1,000 grains préalablement pesés, et en remplissant le flacon jusqu'au trait avec une burette graduée. Le volume d'eau employé retranché de 100 centimètres cubes donne le volume réel occupé par le grain. Il faut dans cette opération avoir soin de chasser par l'agitation les bulles d'air qui pourraient rester adhérentes aux grains.

Du volume et du poids de 1,000 grains, on déduit la densité, ou poids de l'unité de volume réel du grain.

Le nombre de grains par litre et par kilogr. se déduit du poids du litre, et du poids de 1,000 grains. Enfin, le volume réel d'un litre de blé, vides déduits, s'obtient en multipliant le nombre de grains par litre, par le volume réel du grain.

Tableau n° 2.

NUMÉROS d'ordre.	VARIÉTÉS.	POIDS de 1 litre.	POIDS de 1000 grains.	VOLUME réel de 1000 grains.	VOLUME réel d'un litre.	DENSITÉ apparente du grain.	NOMBRE de milliers de grains par litre.	NOMBRE de milliers de grains par kil.
		gr.	gr.	cc	cc			
1	Rouge de Bordeaux . .	780	43	32	575.6	1.34	18.3	23.2
2	Victoria d'automne. . .	760	40	30	570.0	1.33	19.0	25.0
3	Dattel	780	43	30.5	552.0	1.40	18.1	23.2
4	Lamed	760	43	32	556.8	1.34	17.4	23.2
5	Square head suédois . .	750	35	28	599.2	1.25	21.4	28.5
6	Gris de Saint-Laud . .	780	41	30	570.0	1.37	19.0	24.4
7	Redchaff Dantzick. . .	730	38	30	615.0	1.27	20.5	26.3
8	Blanc de Mareuil . . .	740	45	34	555.6	1.32	16.4	22.2
9	Browick.	770	38	30	606.0	1.23	20.2	26.3
10	Blanc de Hongrie . . .	780	36	26	561.6	1.38	21.6	27.7
11	Blanc de Bergues . . .	770	38	28	565.6	1.36	20.2	26.3
12	Rouge de Saint-Laud. .	780	42	31	573.5	1.35	18.5	23.8
13	Hickling	750	34	27	574.0	1.25	22.0	29.4
14	Richelle de Naples. . .	800	46	34	605.2	1.35	17.8	22.2
15	Prince-Albert	760	38	28	565.6	1.35	20.2	26.4
16	Svalof suédois.	760	42	32	576.0	1.31	18.0	23.8
17	Rouge prolifique suédois	770	38	26	527.8	1.46	20.3	26.3
18	Rousselin	780	50	36	561.6	1.38	15.6	20.0
19	Bleu ou de Noé	800	45	34	605.2	1.32	17.8	22.2
20	Blé-seigle	770	43	32	569.6	1.34	17.8	23.2
21	Talavera de Bellevue. .	760	42	33	594.0	1.27	18.0	23.8
22	Hallett Pedigree rouge.	760	41	30	555.0	1.37	18.5	24.4
23	Hallett White Victoria.	770	34	25	587.6	1.30	22.6	29.4
24	Spalding	740	32	26	553.8	1.23	21.3	31.2
25	de Haie ou Tunstall . .	760	36	27	569.7	1.36	21.1	27.7
26	Zélande	800	50	38	604.0	1.31	16.0	20.0
27	Rouge d'Écosse	740	35	27	569.7	1.29	21.1	28.5
28	Trump	760	32	26	618.8	1.23	23.8	31.2
	Moyennes	771	40.0	30.1	577.1	1.32	19.3	25.35

En moyenne nos cultures de 1886-87 nous ont donné, pour 28 variétés, un poids de l'hectolitre égal à $77^{kg},1$, avec un minimum de 74 kilogr. et un maximum de 80 kilogr.

Le poids du grain moyen est de 40 milligrammes. Le grain moyen le plus lourd en pèse 50, et le plus léger 32.

La densité moyenne est de 1.32, avec un maximum de 1.46 et un minimum de 1.23.

Le nombre de grains est en moyenne de 19,300 par litre, et de 25,350 par kilogr. Le minimum est de 15,600 grains par litre et de

20,000 par kilogr., tandis que le maximum atteint 23,800 grains d'une part, et 31,200 de l'autre.

Le volume du grain moyen oscille entre 36 et 26 millimètres cubes, avec une moyenne de 30^{mm3},1.

Le volume réel du blé contenu dans un litre varie de 618^{cc},8 au maximum à 527^{cc},8 au minimum. Le volume des vides laissés par le grain est donc en moyenne de 42 p. 100 [1].

Le volume réel du grain nous semble devoir être, dans une certaine mesure, caractéristique de sa qualité, si l'on considère une même variété. Les blés échaudés ou mal venus, les blés versés ou rouillés, sont toujours ridés et n'atteignent jamais le volume normal des grains qui se sont développés dans des conditions favorables. Lorsqu'on étudie des variétés diverses, ce signe est moins probant, car il y a des blés à gros grains et des blés à petits grains. Toutefois le volume réel est toujours une indication d'une certaine valeur, et le classement établi d'après cette donnée ne diffère pas beaucoup du classement industriel.

En effet, si l'on divise nos variétés en deux groupes : 1° celles dont les grains ont été de bonne ou d'assez bonne qualité ;

2° Celles à grains médiocres ou mauvais, on voit que le volume des grains de la première catégorie varie entre 30 et 36^{mm3}, avec une moyenne de 32^{mm3},7 ; tandis que, dans le second groupe, le volume varie de 26 à 32^{mm3}, avec une moyenne de 27,7. Enfin, il faut noter que le volume de 32^{mm3} est atteint seulement par 2 blés du second groupe, sur 14 qui le composent.

IV. — Étude chimique du grain.

Nous avons déterminé directement, dans nos grains, l'eau, la matière azotée, la graisse, les cendres, la cellulose brute, l'acide phosphorique et la potasse. L'amidon et ses congénères ont été déterminés par différence.

L'eau a été dosée par perte de poids à 100-110°, à l'étuve de Wiessnegg, munie d'un régulateur de température à air. Nos blés

1. M. Pagnoul a obtenu comme moyenne :

Poids du grain moyen.	41 milligr.
Volume du grain moyen	32 millim. cubes.
Densité —	1.31

ayant été conservés plusieurs mois dans un local bien sec, accusent généralement par suite un taux d'humidité un peu faible. La moyenne est inférieure de 2 p. 100 au taux admis par M. Pagnoul.

Le taux de la matière azotée a été déduit du dosage de l'azote, en multipliant ce dernier par 6,25. Nous avons dosé l'azote par la méthode de Kjeldahl, sur 2 grammes de grains entiers, attaqués par 1 gramme de mercure et 20^{cc} SO^3,HO. La distillation de l'ammoniaque a été faite à l'aide de l'appareil de Schlœsing, muni d'un serpentin ascendant d'étain, modification que nous avons introduite il y a près de 5 ans à cet appareil. Le réactif colorant qui nous a servi d'indicateur est la cochenille. Le CO^2 n'a pas d'influence sur lui comme sur le tournesol, et le virage est d'une netteté remarquable [1].

Pour obtenir la graisse, nous avons épuisé 10 grammes de blé grossièrement moulus, à l'aide de l'éther. Le blé était placé dans un tube effilé, maintenu par un support, au-dessus d'une capsule tarée. L'épuisement terminé, la capsule était soumise à l'évaporation, puis pesée après dessiccation à 100°.

Nous avons déterminé la cellulose brute par la méthode décrite par L. Grandeau dans son *Traité d'analyse des matières agricoles*, en ayant recours au siphon-filtre de Bartmann, dont l'emploi diminue considérablement la durée de ce dosage.

Les cendres grises ont été obtenues par l'incinération, au fourneau à moufle, de 10 grammes de grains entiers, placés dans des capsules plates de Berlin. Celles-ci étaient couvertes au début pour éviter les projections. Comme cela ressortira de notre étude sur le dosage de l'acide phosphorique, les taux de cendres du tableau suivant sont trop faibles. On doit les majorer de 31 p. 100 du poids de l'acide phosphorique trouvé, soit en moyenne de 0,219. Nous avons fait figurer les taux bruts de cendres au tableau des analyses, sans correction, pour ne pas rompre avec les méthodes anciennes, mais nous devions signaler la nécessité d'opérer une correction aussi importante.

Les dosages de l'acide phosphorique et de la potasse ont été effectués par des procédés que nous décrirons en détail plus loin et

1. La préparation de la cochenille est indiquée dans le *Traité de chimie volumétrique* de Fr. Mohr.

qui assurent contre toute perte de phosphore ou de chlorure de potassium par la calcination de la substance [1].

Dans les quatre pailles que nous avons analysées, nous avons dosé l'azote, l'acide phosphorique et la potasse, de la même manière que dans les grains.

Tableau n° 3.

NUMÉROS.	NOMS DES VARIÉTÉS.	COMPOSITION IMMÉDIATE.						AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE.
		Eau.	Matière azotée.	Graisse.	Cellulose.	Amidon, etc.	Cendres.			
1	Rouge de Bordeaux	12.23	12.86	1.42	2.68	69.95	1.86	2.06	0.73	0.43
2	Victoria d'automne	8.69	11.16	1.46	2.60	74.24	1.85	1.78	0.66	0.42
3	Dattel	13.13	13.60	1.38	2.82	67.21	1.86	2.16	0.80	0.58
4	Lamed	13.24	14.87	1.42	2.76	65.59	2.12	2.38	0.77	0.60
5	Square head suédois	11.60	13.56	1.43	3.34	68.16	1.91	2.17	0.69	0.55
6	Gris de Saint-Laud	13.54	13.06	1.29	2.70	67.49	1.92	2.09	0.72	0.41
7	Redchaff-Dantzick	11.99	12.12	1 34	3.30	70.35	1.90	1.94	0.72	0.38
8	Blanc de Mareuil	11.91	11.93	1.32	3.08	69.97	1.79	1.91	0.75	0.68
9	Browick	12.86	11.96	1.30	2.64	69.10	2.14	1.91	0.73	0.48
10	Blanc de Hongrie	12 26	12.12	1.24	2.76	69.42	1.60	1.94	0 80	0.48
11	Blanc de Flandre (de Bergues)	10.96	11.81	1.30	2.66	71.57	1.70	1.89	0.69	0.50
12	Rouge de Saint-Laud	10.67	11.81	1.30	2.78	72.72	1.72	1.89	0.70	0.48
13	Hickling	10.71	12.86	1.31	2.48	70.05	1.59	2.06	0.51	0.42
14	Richelle de Naples	10.64	11.16	1.30	2.34	73.18	1.38	1.79	0.64	0.41
15	Prince-Albert	12.47	13.06	1.27	3.01	68.34	1.78	2.09	0.78	0.45
16	Svalof suédois	12.94	13.94	1.46	2.78	67.36	1.54	2.23	0.69	0.39
17	Rouge prolifique suédois	10.08	13.31	1.23	3.00	70.70	1.68	2.13	0.70	0.44
18	Rousselin	13.29	14.53	1.31	2.60	66.34	1.93	2.31	0.74	0.52
19	Bleu ou de Noé	10.99	12.86	1.36	3.16	70.11	1.52	2.06	0.65	0.50
20	Blé-seigle	9.95	11.16	1.27	2.78	73.18	1.66	1.79	0.71	0.60
21	Talavera de Bellevue	10.99	11.16	1.35	2.82	72.07	1.61	1.79	0.73	0.41
22	Hallett Pedigree rouge	12.20	15.81	1.44	2.74	65.90	1.91	2.53	0.68	0.42
23	Hallett Pedigree white Victoria	12.13	13.06	1.30	2.96	68.75	1.80	2.09	0.93	0.45
24	Spalding	13.37	12.12	1.34	3.02	68.57	1.58	1.94	0.89	0.43
25	de Haie ou Tunstall	13.02	13.93	1.38	2.82	65.98	1.87	2.23	0.90	0.40
26	de Zélande	11.12	11.96	1.26	2.96	70.99	1.71	1.92	0.73	0.42
27	Rouge d'Écosse	12.70	12.62	1.36	3.20	68.18	1.91	2.02	0.85	0.42
28	Trump	13.77	13.93	1.33	3.33	65.50	2.14	2.23	0.78	0.39
	Blé moyen 1887	11.91	12.75	1.34	2.86	69.36	1.78	2.04	0.74	0.48

Nous pouvons, d'après le tableau qui précède, assigner au grain moyen de notre récolte la composition suivante :

1. Voir dans la suite : *Dosage de l'acide phosphorique et de la potasse dans les matières organiques.*

	P. 100 de grain normal sans rectification.	P. 100 de grain sec rectifié.
Eau	11.91	0.00
Matière azotée	12.75	14.47
Graisse	1.34	1.52
Cellulose brute	2.86	3.25
Amidon et congénères	69.36	78.38
Cendres	1.78	2.38
Azote	2.04	2.315
Acide phosphorique	0.74	0.840
Potasse	0.48	0.545

Dans la 2e colonne nous avons rectifié le taux des cendres, en tenant compte des pertes de PhO^5 dues à la calcination.

Les blés que nous avons soumis à l'analyse présentent, comme le démontre ce qui précède, un taux de protéine notablement supérieur à celui que M. Pagnoul a trouvé dans sa collection. En effet, pour 100 de blé sec nous avons 14.46 de matière azotée au lieu de 12.136. Nous trouvons aussi un taux moyen d'acide phosphorique sensiblement supérieur, à savoir : 0.84 au lieu de 0.7695.

Ces divergences ne doivent pas surprendre : car sur les 28 variétés que nous avons analysées, il n'y en a pas plus de 4 qui figurent dans le tableau dressé par notre savant collègue. La plus grande richesse de nos variétés en protéine et en acide phosphorique est la conséquence de ce fait que nous n'avons étudié que des variétés de choix, provenant d'une culture où l'azote abonde et où l'acide phosphorique est fourni sans parcimonie.

Les écarts extrêmes de composition que nous avons constatés ressortent du tableau de détail suivant. Nous les comparons encore aux écarts relatés par M. Pagnoul :

	M. GAROLA.			M. PAGNOUL.		
	Minimum.	Maximum.	Écart max.	Minimum.	Maximum.	Écart max.
Eau	8.69	13.54	4.85	10.00	16.88	6.88
Matière azotée	11.16	15.81	4.65	7.87	16.06	8.19
Graisse	1.24	1.46	0.22	»	»	»
Cellulose brute	2.34	3.34	1.00	»	»	»
Amidon, etc.	65.59	73.18	7.59	»	»	»
Cendres	1.38	2.14	0.76	»	»	»
Azote	1.78	2.53	0.75	»	»	»
Acide phosphorique	0.51	0.93	0.42	0.448	1.016	0.57
Potasse	0.38	0.68	0.30	»	»	»

On remarquera, comme c'est tout naturel, que les écarts de nos essais sont moins considérables que ceux des essais de la station d'Arras; ou, en d'autres termes, que l'influence seule de la variété est moins grande que les influences combinées de la variété et du sol sur la composition du grain. L'individualité, d'autre part, nous paraît exercer sur la constitution du grain une action plus marquée que l'habitat, car, si les écarts constatés par M. Pagnoul sont toujours plus grands que les nôtres, les différences que nous obtenons en soustrayant nos écarts des siens sont inférieures à nos écarts maxima.

Dosage en cellulose et qualité. — Nous avons déjà montré plus haut que la qualité commerciale de nos blés est en relation directe avec le volume réel du grain. Dans ce dernier, l'enveloppe, qui formera le son, contient presque toute la cellulose brute. En effet, tandis que la farine ne renferme pas en moyenne plus de 1/2 p. 100 de ce corps, le son en contient généralement 18 p. 100. La richesse en cellulose d'un blé est donc un indice de la proportion de l'écorce ou du son, et par suite du rendement en farine et gruau.

Plus donc le taux de cellulose dans un blé est élevé, moins ce blé a de qualité marchande.

Cette considération nous a conduit à comparer la qualité du grain inscrite au tableau n° 1 au taux de cellulose du tableau n° 3, et notre examen nous a donné les moyennes suivantes qui nous semblent caractéristiques :

QUALITÉ DU GRAIN.	CELLULOSE.
—	—
Bonne et assez bonne	2.80
Mauvaise et très mauvaise	3.31

Le dosage de la cellulose, comme la détermination du volume réel du grain, a donc une utilité certaine pour la spécification de la qualité de ce dernier. Ce dosage éclairera le meunier sur le rendement probable en son. La proportion du son atteint environ 5 fois et demie celle de la cellulose.

Nous donnons ci-après le rendement probable en son et recoupes du blé le plus mauvais, d'un blé très bon et du blé moyen. Pour les autres, le lecteur nous suppléera en effectuant le calcul indiqué.

Square head (très mauvais)	18.5
Richelle de Naples (très bon)	13.0
Blé moyen	15.8

Les deux déterminations réunies, de la cellulose et du volume réel, fournissent des éléments certains d'appréciation : *Tous les blés, analysés plus haut, qui renferment plus de 2.9 de cellulose ou ont un volume inférieur à 30 millimètres cubes, sont médiocres ou mauvais.*

Les anomalies constatées dans la détermination de la cellulose sont rectifiées par la mesure du volume. Tout grain petit et riche en cellulose est certainement mauvais. Les blés de Noé et blanc de Mareuil sont de bonne qualité, bien que dosant 3 p. 100 de cellulose, parce que leur volume s'élève à 34 millimètres cubes. Au contraire, le blé Hickling, qui ne dose que 2.48 de cellulose est mauvais parce qu'il n'a que 27 millimètres cubes de volume.

Le rapprochement des deux données pour les plus mauvais blés montre la réalité de ce que nous avançons.

BLÉS TRÈS MAUVAIS.	CELLULOSE.	VOLUME.
Square head	3.34	28
Trump	3.33	26
Rouge d'Écosse	3.30	27
Spalding	3.02	26
Prince-Albert	3.04	28

Azote et phosphore. — M. Pagnoul, en comparant les dosages d'azote et d'acide phosphorique, arrive à cette conclusion : « l'ensemble des échantillons les plus riches en azote donne en même temps la moyenne la plus élevée en acide phosphorique, mais il n'existe aucun rapport constant entre ces deux corps pour les échantillons pris individuellement. »

Nos recherches démontrent aussi qu'il n'y a pas de rapport constant entre ces deux éléments fondamentaux.

Ainsi pour les dix blés les plus riches en matière azotée, nous obtenons un dosage moyen d'acide phosphorique de 0,753.

Les dix blés suivants dosent en moyenne d'un côté 12.36 de matière azotée et 0.752 d'acide phosphorique.

Enfin, les 8 derniers blés renferment en moyenne 11.52 d'albuminoïdes et 0.701 d'acide phosphorique.

Le mouvement décroissant de l'acide phosphorique suit celui de

la matière azotée, mais irrégulièrement. Toutefois, nous croyons devoir faire observer que dans cette recherche des rapports entre les éléments nutritifs du grain, on ne peut obtenir de résultat sûr qu'en examinant exclusivement des blés réussis comme qualité. C'est pourquoi nous avons dressé le tableau de détail qui suit, dont nous avons exclu tous les blés de qualité médiocre ou mauvaise. Ce tableau, qui repose sur des données précises, fait beaucoup mieux ressortir le mouvement parallèle de décroissance des deux éléments considérés.

VARIÉTÉS.	QUALITÉ du grain.	MATIÈRE azotée.		ACIDE phosphorique.	
Lamed	A. B.	14.87		0.77	
Rousselin	A. B.	14.53		0.74	
Dattel	B.	13.70	13.80	0.80	0.754
De Saumur (gris de St-Laud)	A. B.	13.06		0.72	
De Bordeaux	B.	12.86		0.73	
De Noé	B.	12.86		0.65	
Redchaff-Dantzick	A. B.	12.12		0.72	
Browick	A. B.	11.96	12.16	0.73	0.716
De Zélande	A. B.	11.96		0.73	
Blanc de Mareuil	B.	11.93		0.75	
Rouge de Saint-Laud	A. B.	11.81		0.70	
Talavera	A. B.	11.16	11.32	0.73	0.682
Richelle de Naples	T. B.	11.16		0.64	
Victoria	A. B.	11.16		0.66	

Valeur réelle des blés. — Si l'on n'avait à considérer dans les blés que leur pouvoir nutritif total, leur valeur s'établirait facilement d'après l'analyse immédiate, comme nous l'avons fait autrefois pour les avoines. Mais le problème est beaucoup plus complexe. Nous croyons que la valeur réelle d'un blé dépend à la fois de sa productivité et de sa puissance nutritive en vue de la consommation humaine. Pour déterminer cette dernière, il faudrait savoir combien le blé rend de farine à la mouture, combien de gluten renferme la farine, et quelle est la qualité de ce gluten au point de vue de la panification. Ce sont là des données que nous ne possédons pas encore aujourd'hui. Pour les obtenir, le concours de la meunerie et celui de la boulangerie sont presque indispensables.

En attendant, nous croyons devoir nous contenter de classer nos blés d'après leur rendement en matière azotée par hectare, après élimination de ceux qui n'ont obtenu qu'une cote médiocre ou mauvaise à l'examen du praticien.

	VARIÉTÉS.	MATIÈRES AZOTÉES par hectare.
	—	—
		Kilogr.
1	Lamed	423
2	Bordeaux	411
3	Dattel	388
4	Rousselin	370
5	Gris de Saint-Laud (de Saumur)	365
6	Redchaff-Dantzick	339
7	Browick	329
8	Blanc de Mareuil	328
9	Victoria	324
10	De Noé	321
11	Rouge de Saint-Laud	319
12	Richelle blanche de Naples	290
13	Talavera de Bellevue	279
14	De Zélande	275

Le classement ainsi obtenu répond bien à l'estime dont jouissent en Eure-et-Loir le Dattel, le Bordeaux et le Lamed. Le gris de Saint-Laud est estimé dans le nord-est du département. Le Redchaff, cultivé seulement à titre expérimental depuis trois ans, nous a paru mériter d'être répandu. Nous le cultivons cette année dans une dizaine de champs de démonstration. Si le blé de Noé n'était pas d'une trop grande susceptibilité à la rouille, il n'aurait pas perdu la vogue dont il a justement joui pendant longtemps. Le Dattel, très résistant à ce parasite et très productif, est destiné à prendre une grande extension dans la culture beauceronne.

III. — Aperçu des quantités de substances fertilisantes exportées du sol par la récolte.

Pour nous rendre un compte approximatif des quantités de matières fertilisantes exportées du sol par notre récolte, nous avons analysé les pailles de quatre de nos variétés.

Composition des pailles, pour 1 000 kilogr. de matière normale.

VARIÉTÉS.	AZOTE.	ACIDE phosphorique.	POTASSE.
—	—	—	—
1 De Bordeaux.	4.10	0.95	2.4
2 Lamed	3.85	0.87	1.8
3 Dattel.	3.90	0.85	3.4
4 De Noé	4.15	0.93	2.5
Moyennes.	4.00	0.90	2.5

Dans le tableau n° 3 nous trouvons pour chacune de ces quatre variétés leur teneur en azote, acide phosphorique et potasse. Le tableau n° 1 nous donnant le rendement en grain et en paille, il nous a été facile de calculer les résultats suivants :

		BORDEAUX 32qx,0 de grain.	LAMED 28qx,5	DATTEL 28qx,5	DE NOÉ 25qx,0	MOYENNES 28qx,5
		—	—	—	—	—
		Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.
Azote.	Grain	65,9	67,8	61,5	51,5	82,3
	Paille	25,0	20,6	19,7	18,0	
	Total. . .	90,9	88,4	81,2	69,5	
Acide phosphorique	Grain	23,4	22,0	22,8	16,3	25,8
	Paille	5,8	4,5	4,3	4,0	
	Total. . .	29,2	26,5	27,1	20,3	
Potasse.	Grain	13,8	17,1	16,5	12,5	28,0
	Paille	14,6	9,4	17,2	10,9	
	Total. . .	28,4	26,5	33,7	23,4	

Ces exportations de principes fertilisants ne sont pas en rapport avec les fumures que nous sommes obligés de donner pour obtenir de bons rendements. La richesse en azote des terres du pays permet de ne pas dépasser l'emploi de 30 à 40 kilogr. d'azote nitrique ou ammoniacal, lorsqu'on n'emploie pas de fumier. Au contraire, il faut donner à nos blés environ 60 kilogr. d'acide phosphorique à l'hectare, pour assurer leur grenaison, parce que le sol est très pauvre en acide phosphorique. L'emploi de la potasse donne rarement des résultats rémunérateurs.

Le sol du champ qui a produit nos blés n'a pas été analysé. Mais cette année nous avons analysé un sol de même formation géologique,

dans la même commune. Nous y avons trouvé par kilogr. de terre 0gr,9 d'azote, 0gr,43 d'acide phosphorique et 2gr,19 de potasse.

Dans les questions de fumure il y a autre chose à considérer que la composition chimique de la plante récoltée. La connaissance du sol et du développement physiologique de la plante, sont des données indispensables, et encore trop peu étudiées.

Pour terminer ce mémoire, nous devons prévenir le lecteur que nous avons été heureusement secondé dans l'exécution de ce travail, par notre jeune camarade M. Aufray, ancien élève diplômé de l'Institut national agronomique, préparateur-chimiste à la station agronomique de Chartres.

NOTE SUR LE DOSAGE DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE DANS LES MATIÈRES ORGANIQUES (1888).

I. — A l'occasion de l'étude que nous avons entreprise sur la composition des variétés de blé dont nous expérimentons depuis 5 ans, à Villeneuve, les qualités agricoles, nous avons été amenés à constater l'importance des pertes d'acide phosphorique que l'on peut faire en calcinant les grains de blé et les matières organiques en général.

Pour 7 variétés de blés où nous avons dosé l'acide phosphorique en opérant sur les cendres provenant de la calcination simple d'abord, puis par un procédé qui va nous occuper et d'où la calcination est exclue, nous avons trouvé en moyenne pour 100 grammes de grain normal une perte de 0gr,219 due à la volatilisation du phosphore, ainsi que le prouve le tableau suivant :

NUMÉROS du journal des blés.	NOM des blés analysés.	DOSAGE après calcination.	DOSAGE sans calcination.	PERTE DUE à la calcination.
1	Square head suédois	0,441	0,687	0,246
2	De Zélande	0,480	0,728	0,248
3	Rouge de Saint-Laud	0,490	0,705	0,215
4	Blanc de Bergues	0,525	0,691	0,166
6	Talavera de Bellevue	0,451	0,728	0,277
7	Blé seigle	0,531	0,712	0,181
8	Rouge prolifique suédois	0,498	0,700	0,202
	Perte moyenne			0,219

En chiffres ronds la perte est de 31 p. 100 de la quantité dosée. — C'est colossal.

De plus, il est à remarquer que la volatilisation du phosphore est capricieuse : le n° 6, par exemple, qui est un des deux plus riches par la méthode sans calcination, est, par l'ancienne, un des plus pauvres.

II. — En présence de pareils résultats, nous avons dû abandonner le procédé par calcination et recourir à un autre mode de destruction de la matière organique. Nous avons adopté la méthode inaugurée par Kjeldalh pour le dosage de l'azote organique.

La seule difficulté réside dans la nécessité d'opérer sur une faible quantité de matière. L'attaque de 2 grammes de blé, de tourteaux, de poudrette, etc., se fait très facilement ; mais il n'est pas pratique de chercher à attaquer d'emblée 4 à 5 grammes de ces matières. — Cette attaque est toutefois possible et nous y sommes arrivé par un détour.

Nous introduisons d'abord dans le ballon de 200 centimètres cubes, 2 grammes de la substance avec 20 centimètres cubes de SO^3HO et un demi-gramme de Hg. Nous faisons bouillir jusqu'à complète dissolution de la matière, puis quand le dégagement de SO^2 est presque terminé, nous faisons tomber de nouveau 2 grammes de la matière à attaquer, et poursuivons l'ébullition jusqu'à ce que le liquide soit complètement décoloré. (On ajoute un peu de SO^3HO si cela paraît nécessaire.)

En traitant ainsi 4 grammes de blé, par exemple (ce grain renfermant de 0.6 à 0.9 d'acide phosphorique), on aura à précipiter de 24 à 36 milligrammes de PhO^5, ce qui est suffisant pour faire un dosage exact par la méthode de Frésénius. On pourrait même pour le blé se contenter d'opérer sur 2 grammes ; ayant à peser alors de 20 à 30 milligrammes de pyrophosphate de magnésie, on atteindrait une exactitude égale à celle que demande *M. de Gasparin dans l'analyse des sols.*

III. — Mais entre l'attaque et la précipitation magnésienne, pour que celle-ci puisse se faire dans un volume assez restreint pour éviter les pertes dues à la solubilité du phosphate ammoniaco-magné-

sien, il est indispensable de séparer le corps cherché à l'état de phospho-molybdate d'ammoniaque.

A cet effet, l'attaque du blé par l'acide sulfurique et le mercure terminée, on neutralise par l'ammoniaque après avoir transvasé dans une capsule de 11 centimètres de diamètre et étendu d'un peu d'eau, puis on réacidifie par l'acide azotique en excès. Joulie a, en effet, démontré que la précipitation de l'acide phosphorique par le molybdate est incomplète en présence de l'acide sulfurique libre. La solution acide est filtrée sur un tout petit filtre (15 centimètres cubes) pour séparer les substances insolubles. Le liquide filtré et les eaux de lavage ne dépassent pas 200 à 230 centimètres cubes. On porte alors à l'ébullition après avoir ajouté 5 grammes d'azotate d'ammoniaque. Dans le liquide *bouillant* on verse 30 centimètres cubes de nitro-molybdate (50 grammes d'acide molybdique par litre) et on laisse rebouillir UN INSTANT. — Après avoir retiré du feu, on laisse refroidir, puis on recueille le précipité sur un filtre plat qu'on lave à l'acide azotique au 1/10e.

On redissout le phospho-molybdate dans l'ammoniaque au tiers, on lave avec le même liquide, puis on précipite avec 5 centimètres cubes de liqueur citro-magnésienne de la formule de l'ingénieur Millot, le volume total du liquide ne dépassant pas 100 centimètres cubes. — On termine comme d'habitude.

En traitant de cette manière 2 grammes de blé de différentes variétés, nous avons obtenu les résultats suivants :

NUMÉROS des variétés au journal.	$PhO^5, 2MgO$ pesé.	ACIDE PHOSPHORIQUE p. 100.
20	28 milligr.	0.896
21	25	0.800
22	29	0.928
23	24	0.768

Ces résultats confirment l'opinion que nous avions émise dès le début sur la grandeur des pertes d'acide phosphorique dues à l'action du feu.

IV. — M. Parmentier, dans le Traité d'analyse des matières agricoles de M. Grandeau, a démontré que la silice pouvait, dans cer-

taines conditions, former un précipité de silico-molybdate d'ammoniaque. Ce précipité, dont l'aspect ne diffère pas ou peu de celui du phospho-molybdate, prend facilement naissance dans une solution riche en silice et en sels ammoniacaux.

Le mode opératoire précédent serait donc fautif s'il s'agissait, non pas d'une matière organique extrêmement pauvre en silice, comme le blé et la plupart des graines, mais d'un fourrage ou surtout d'une paille où la silice est beaucoup plus abondante que l'acide phosphorique. On aurait alors beaucoup de chances pour qu'il se précipite du silico-molybdate, à cause de l'énorme quantité de sels ammoniacaux que renferme la solution. Cette silice se retrouverait à l'état de silicate de magnésie mélangée au pyrophosphate et fausserait les résultats.

Lors donc que nous voulons doser l'acide phosphorique dans des substances organiques telles que les pailles et les fourrages, riches en silice, ou dans toute autre matière où nous avons à craindre l'abondance de ce corps, nous modifions la méthode précédemment décrite comme il suit :

Au liquide d'attaque de 4 grammes de fourrage ou de paille étendu d'eau et transvasé dans une capsule, on ajoute 5 à 10 centimètres cubes de sulfate de peroxyde de fer à 10 p. 100; puis on sature par l'ammoniaque. En se précipitant, le sesquioxyde de fer entraîne tout l'acide phosphorique, *mais aussi une quantité notable de silice*. Pour se débarrasser de celle-ci, après avoir recueilli le précipité sur un filtre, on le dessèche à l'étuve à 100-110 degrés. Le filtre et son contenu étant placés dans une capsule, on y ajoute de l'acide azotique à 30 p. 100 et on laisse digérer à une douce chaleur. L'oxyde de fer et le phosphate de fer se dissolvent à *l'exclusion de la silice*, que l'on sépare par le filtre et qu'on lave. Il ne reste plus qu'à précipiter l'acide phosphorique dans le liquide filtré, additionné de 5 grammes de nitrate d'ammoniaque, par le molybdate (30 centimètres cubes) à l'ébullition et à continuer comme plus haut.

V. — Mais lorsqu'on a un grand nombre de dosages à faire, la lenteur relative des procédés que nous venons de décrire (surtout quand il s'agit de fourrages qui, comme la paille, renferment très peu

d'acide phosphorique et nécessitent, par conséquent, l'emploi de 10 grammes de matière[1]) est un inconvénient qui peut faire reculer devant leur emploi.

C'est pourquoi nous avons songé à recourir à la pesée du précipité de phospho-molybdate, comme le font déjà un certain nombre de chimistes dont les noms font autorité.

Mais en consultant les différents auteurs que nous avions sous la main, nous avons constaté, avec regret, des divergences énormes que présenterait le précipité. C'est ainsi que les instructions officielles aux stations agronomiques indiquent que le phospho-molybdate séché à 90 degrés contient 4.38 d'acide phosphorique (précipitation à froid); l'Agenda du chimiste donne le coefficient 3.14 (précipitation à chaud); tandis que Lipowitz, dans le traité d'analyse volumétrique de François Mohr, indique 3.6 pour la richesse en acide phosphorique du précipité obtenu à l'ébullition.

Nous avons tenu à étudier nous-même le précipité et nous avons reconnu que dans les conditions de nos expériences, il présente une composition constante, qui permet de déduire de son poids la quantité de PhO^5 qu'il renferme.

On peut donc *simplifier* la méthode de dosage précédente, et la rendre très rapide en substituant à la pesée du pyrophosphate de magnésie, la pesée du phospho-molybdate recueilli sur un filtre taré et desséché à 90 degrés.

Dans le cas des graines, cette modification permet d'opérer sur 2 grammes ; pour les pailles très pauvres, 4 grammes suffisent.

Nous avons cherché la composition du précipité par 2 méthodes différentes : 1° en précipitant par le nitro-molybdate un poids rigoureusement connu de PhO^5 et pesant le précipité séché au-dessous de 90 degrés; 2° en dosant l'acide phosphorique dans les précipités provenant de 3 séries successives de dosages.

1° — *a*) 20 milligrammes d'acide phosphorique, additionnés d'eau et de 5 grammes d'azotate d'ammoniaque, sont portés à l'ébullition. On y verse alors 30 centimètres cubes de molybdate, on laisse

---

1. Pour attaquer 10 gr. de paille, on attaque en 2 fois 5 gr. dans 2 ballons et on réunit les liquides d'attaque.

bouillir *un instant*. Le volume total est d'environ 230 centimètres cubes. Après refroidissement, on recueille le précipité sur un filtre taré, on lave à l'acide azotique au 1/10, puis, après avoir séché le filtre dans un papier joseph et enfin à l'étuve à 90 degrés, on le pèse.

On obtient 559 milligrammes de phospho-molybdate ; comme le précipité renferme 20 milligrammes d'acide phosphorique, il en dose p. 100 : 3.575.

b) Même opération sur 10 milligrammes d'acide phosphorique.

Phospho-molybdate	280 milligr.
Acide phosphorique p. 100 du précipité. . . .	3.575

Les résultats des deux opérations sont identiques. Ils concordent du reste parfaitement avec le coefficient de Lipowitz pour la précipitation à l'ébullition.

2° — Les précipités de phospho-molybdate provenant de nos dosages d'acide phosphorique dans 16 échantillons de blé répartis en 3 séries ont été analysés et nous ont fourni les résultats suivants[1] :

SÉRIE.	PHOSPHO-MOLYBDATE employé.	PYROPHOSPHATE pesé.	ACIDE phosphorique p. 100.
Nos 6 à 11 inclus	1gr,246	0gr,069	3.544
Nos 16 à 18 inclus. . . .	2 ,654	0 ,143	3.445
No 19, *a, b, c*	1 ,480	0 ,082	3.546
	Moyenne.		3.511

Il y a dans les résultats obtenus dans les deux procédés une grande concordance. Les coefficients obtenus peuvent être considérés comme identiques, car leurs écarts n'ont dans la pratique du dosage de l'acide phosphorique d'influence que sur les dixièmes de milligramme, et encore cette influence ne dépasse pas 2 et 4 unités de cet ordre.

Nous devons faire observer que les précipités analysés portant les nos de série 6 à 11 ont été obtenus sans porter le liquide à l'ébullition. Malgré cela, nous n'y avons trouvé que 3.54 p. 100 seulement d'acide phosphorique au lieu de 4.38 p. 100 indiqués par M. Aubin.

1. Ces dosages ont été faits avec le plus grand soin par la méthode de double précipitation.

Nous croyons donc être autorisés par les dosages concordants qui précèdent à prendre comme coefficient le nombre *3,54,* moyenne de nos dosages.

La constance des résultats obtenus dans ces essais démontre que la pesée du phospho-molybdate séché à 90 degrés offre suffisamment de garanties d'exactitude. En opérant sur le double d'acide phosphorique, nous avons obtenu précisément le double de précipité.

Dans l'analyse des grains de blé, attaqués sans mouture préalable, nous avons obtenu dans la série 19 *a, b, c* des résultats que nous estimons satisfaisants.

BLÉ N° 19.	PHOSPHO-MOLYBDATE.	ACIDE phosphorique.
	Milligr.	Milligr.
a) 1er échantillon de 2 gr. . . .	497	17,59
b) 2e —	503	17,80
c) 3e —	471	16,67
Moyenne	490	17,35

VI. — En résumé, pour doser rapidement l'acide phosphorique dans les matières organiques, sans faire de pertes par leur calcination, on attaque 2 à 4 grammes de matière par la méthode Kjeldahl (SO^3HO et Hg).

1° Si la substance ne renferme que peu ou pas de silice, on neutralise le liquide d'attaque par l'ammoniaque, réacidifie par l'acide azotique ; puis, après filtration, on précipite à l'ébullition par le nitro-molybdate, en versant 30 centimètres cubes de ce réactif dans la solution bouillante, le volume total étant d'environ 200 à 250 centimètres cubes. On laisse refroidir, puis on recueille le précipité sur un filtre taré, on lave 3 ou 4 fois avec l'acide azotique à 1/10 ; on laisse bien égoutter le filtre, on le dessèche à 90 degrés et on le pèse. Le poids de phospho-molybdate multiplié par 3,54 donne l'acide phosphorique.

2° Si l'on craint la présence de la silice (paille, foin), dans le liquide d'attaque étendu d'un peu d'eau on ajoute 5 à 10 centimètres cubes de sulfate de peroxyde de fer à 10 p. 100 et l'on neutralise par l'ammoniaque. Le précipité ferrugineux renfermant tout l'acide phosphorique est recueilli sur un filtre desséché à 100-110 degrés pour insolubiliser la silice, puis repris dans une petite capsule par l'acide

azotique au tiers à une douce chaleur. Le liquide filtré, séparé de la silice, additionné de 5 grammes d'azotate d'ammoniaque, est enfin porté à l'ébullition et précipité par 30 centimètres cubes de nitro-molybdate.

C.-V. G.

NOTE SUR LA COMPOSITION DU PHOSPHO-MOLYBDATE D'AMMONIAQUE.

Nous avons dosé l'azote par la méthode Kjeldalh et avons trouvé p. 100 1gr,95 = 3,62 d'AzH^4O.

L'acide molybdique a été dosé après dissolution du précipité dans SO^3HO et réduction par le zinc, dans le liquide étendu. On détermine le Mo^2O^3 formé par le caméléon N/10.

Composition p. 100.

Acide molybdique	MoO^3	88.30
Acide phosphorique	PhO^5	3.54
Ammoniaque	AzH^4O	3.62
Eau p. diff.	HO	4.54

Cette composition répond à la formule :

$$24\,MoO^3, PhO^5, 3\,AzH^4O, 10\,HO = 1\,967$$

Composition déduite de la formule.

Acide molybdique	87.85
— phosphorique	3.69
Ammoniaque	3.96
Eau	4.57

Le phospho-molybdate est cristallisé en petits cubes.

C.-V. G.

DOSAGE DE LA POTASSE DANS LES MATIÈRES ORGANIQUES (1888).

Pour éviter toute perte de potasse par la volatilisation du chlorure à haute température, nous attaquons à deux reprises 4 gr. de matière organique par l'acide sulfurique et le mercure, comme pour doser l'azote ou l'acide phosphorique.

Le produit de l'attaque est transvasé dans un grand verre a préci-

pité ; on y ajoute les eaux de lavage du petit ballon. — On verse alors un lait de chaux épais jusqu'à réaction alcaline. L'acide sulfurique est ainsi éliminé à l'état de sulfate et le mercure précipité.

Un grand entonnoir en verre A est muni d'un tampon d'amiante B et placé sur un ballon C. On verse dans l'entonnoir le magma de sulfate de chaux, puis on le lave méthodiquement, avec aussi peu d'eau que possible, 5 à 6 fois.



Le liquide recueilli renferme tous les sels alcalins, un peu de chaux libre et un peu de sulfate de chaux. Si la substance renfermait de l'azote, ce corps se trouve dans le liquide à l'état d'ammoniaque.

Le liquide transvasé dans une capsule est évaporé à sec et calciné au bain de sable pour chasser les sels ammoniacaux. On reprend alors la capsule par quelques centimètres cubes d'eau et d'acide chlorhydrique, on ajoute du chlorure de platine, on évapore à sec, au bain-marie, et on termine par la méthode au formiate.

C'est ce procédé que nous avons adopté pour doser la potasse dans nos recherches sur la composition des blés. C.-V. G.

DOSAGE DE L'ACIDE PHOSPHORIQUE DANS LES ENGRAIS ORGANIQUES A L'ÉTAT DE PYROPHOSPHATE DE MAGNÉSIE (1888).

Les pertes que nous avons signalées lors de la calcination des grains de blé se reproduisent quand on incinère des engrais riches en matières organiques et renfermant du phosphate acide.

Les guanos, les poudrettes, les engrais composés à base de superphosphate et de substance organique sont dans ce cas.

Exemples :

		POUR 1/2 gr.
N° 49	PhO^5 par calcination	47,7 milligr.
—	PhO^5 par attaque Kjeldahl.	49,7
	Perte	2,0
N° 50	PhO^5 par calcination	25,60
—	PhO^5 par attaque Kjeldahl	29,44
	Perte	3,84

C'est pourquoi nous évitons pour ces substances la destruction de la matière organique par le feu.

On peut leur appliquer les méthodes précédemment décrites. Toutefois nous préférons les traiter comme il suit :

2 gr. de poudrette ou autre engrais organique sont attaqués par l'acide sulfurique (20 centimètres cubes) et le *sulfate de cuivre sec* (2 gr.) comme pour le dosage d'azote. Le produit de l'attaque est transvasé dans un flacon jaugé de 200 centimètres cubes et additionné d'eau. On laisse refroidir, puis on complète jusqu'au trait. On filtre le liquide après mélange intime.

On en prélève de 50 à 100 centimètres cubes, suivant qu'on veut faire le dosage sur un demi ou 1 gr. On précipite par la mixture citromagnésienne et l'ammoniaque et l'on dose le précipité par pesée ou volumétriquement.

Le sulfate de cuivre ne gêne en rien l'opération.

C.-V. G.

ÉTUDE

SUR LA

PLACE DE PRODUCTION N° 2

INSTALLÉE

DANS LA FORÊT DOMANIALE DE HAYE

(*Exécution de la circulaire n°* 145.)

PAR M. BARTET

INSPECTEUR ADJOINT DES FORÊTS

ATTACHÉ A LA STATION D'EXPÉRIENCES DE L'ÉCOLE NATIONALE FORESTIÈRE DE NANCY

I. — But des recherches.

La circulaire n° 145, transmissive d'une décision prise le 8 décembre 1873 par le Directeur général des forêts, marque le premier pas fait par l'Administration forestière dans la voie de l'expérimentation officielle en matière de sylviculture.

« Nous n'avons pas, en France, dit cette circulaire, les données nécessaires pour déterminer exactement l'exploitabilité absolue des essences d'élite dans les conditions si variées de climat, de situation et de sol où se trouvent les bois soumis au régime forestier. Les éléments nous font également défaut pour établir le revenu annuel correspondant aux divers âges d'exploitation. Or, on ne peut acquérir ces notions qu'au moyen d'une série d'expériences ayant pour objet de constater le développement et les produits de massifs régulièrement traités depuis leur naissance jusqu'à l'âge de maturité. »

« En conséquence il est prescrit :

« 1° D'asseoir dans toute forêt domaniale aménagée et traitée par la méthode du réensemencement naturel et des éclaircies, une place

d'expériences d'au moins 50 ares, choisie parmi les jeunes peuplements des parcelles en tour de régénération où l'on n'aurait encore fait aucune coupe intermédiaire.

« 2° De choisir chaque place d'expériences de manière qu'elle présente un repeuplement complet provenant de semis naturels et composé, en quantités suffisantes, des essences que l'aménagement prescrit de faire prédominer ou de conduire jusqu'à maturité à l'état de mélange.

« 3° De déterminer, à chaque passage des coupes d'amélioration, le volume, le poids et la valeur des produits, et de cuber, en outre, les bois restant sur pied. »

En vertu de ces instructions, une place d'expériences destinée à l'étude de la production en matière et en argent, ou si l'on nous permet cette abréviation, une *place de production,* désignée par le n° 2 [1], a été assise dans la forêt domaniale de Haye, à la fin de l'année 1882, par la station de recherches de l'École forestière. Comme le peuplement de cette place d'essai a déjà subi deux inventaires et deux éclaircies, le comité des recherches [2] a pensé qu'il ne serait pas sans intérêt de présenter un compte rendu succinct des opérations effectuées et des résultats obtenus jusqu'à ce jour.

Tel est le but des pages qui suivent. On verra, en les parcourant, que nous sommes parfois sorti du domaine des faits purement économiques pour aborder incidemment certaines considérations d'ordre plutôt cultural.

II. — Plan d'exécution.

La marche suivie pour l'exécution des inventaires (dénombrement et cubage des tiges sur pied) est exactement celle qui a été adoptée dans nos expériences sur les éclaircies. Nous nous dispenserons donc de l'exposer ici en détail et nous renverrons à cet égard aux deux mémoires publiés dans le *Bulletin du ministère de l'agriculture,* années 1887 (p. 372) et 1888 (p. 514). Il nous suffira de rappeler :

1. Le n° 1 a été attribué à la place de production que nous avons établie dans la forêt domaniale de Champenoux et qui fera elle-même l'objet d'un rapport ultérieur.

2. Ce comité, présidé par M. le directeur de l'École, comprend les deux professeurs d'économie forestière et l'inspecteur adjoint attaché à la station d'expériences.

1° Que toutes les tiges sont mesurées à 1^{m},30 au-dessus du sol, sur des ceintures fixes de couleur, et qu'on les range, *selon leur circonférence,* dans des catégories de grosseur se suivant de 1 en 1 centimètre (les fractions de circonférence inférieures à 5 millimètres sont négligées, et l'on compte comme unités les fractions égales ou supérieures à $^{1}/_{2}$ centimètre) ;

2° Que chaque essence est dénombrée séparément et qu'on en détermine le cube au moyen d'un tarif qui lui est propre [1] ;

3° Que, dans l'expression de ce volume, on distingue le *bois fort* et le *menu bois,* c'est-à-dire, d'une part les portions de la tige et des branches mesurant au moins 0^{m},20 de tour, et d'autre part toutes les parties ligneuses de grosseur moindre ;

4° Qu'en outre du nombre des tiges et de leur volume, on met aussi en relief, pour chaque essence, la *surface terrière* ou somme des surfaces des sections transversales prises à 1^{m},30 du sol. Cette donnée a une utilité immédiate et facile à comprendre pour le calcul de la circonférence de la tige moyenne.

Telles sont les dispositions principales du plan d'exécution, en ce qui concerne les inventaires.

Quant à la nature de l'éclaircie effectuée, nous la caractériserons en disant qu'elle consiste essentiellement à *couper, dans l'étage dominant, les perches nuisibles aux tiges d'avenir :* en principe, on ne doit pas toucher à l'étage dominé, si ce n'est pour y recueillir les sujets morts ou paraissant incapables de vivre jusqu'au retour de l'éclaircie suivante.

III. — Description de la place d'expériences. Inventaire d'installation.

Conformément aux instructions de l'administration [2], la place d'expériences a reçu une surface d'un hectare.

La partie de la forêt domaniale de Haye, dans laquelle elle se

---

1. Un certain nombre de termes du tarif de chaque essence sont obtenus directement par l'abatage et le cubage de tiges types ; les autres termes se calculent par interpolations.

2. Décision du directeur des forêts en date du 28 juin 1882.

trouve, appartient à la 8e série (en conversion) de futaie, 4e affectation, parcelle C4, canton de Remenaumont.

Le terrain, sans inclinaison sensible, est à une altitude de 390 mètres approximativement (plateau de Haye).

La terre végétale est formée par un diluvium argilo-siliceux, faiblement mélangé de chaux et de fer. Elle repose sur les puissantes assises calcaires de la grande oolithe. Son épaisseur atteint 0m,60 à 0m,80 et les racines la pénètrent facilement, même dans ses couches les plus profondes. Aussi peut-on considérer la place d'expériences comme occupant un sol forestier de bonne qualité.

Le peuplement a été obtenu de semence par la seule action des forces naturelles (la coupe définitive remonte à l'année 1860). Agé de 28 ans[1] à l'époque de l'installation, il constituait un massif très serré et vigoureux. Dans son ensemble, même abstraction faite des plus petites tiges, il n'était encore qu'à l'état de gaulis. Essences principales : le hêtre (très prédominant) et le chêne ; essences subordonnées : le charme, l'alisier torminal, etc. Le chêne n'offrait pas une répartition uniforme sur toute l'étendue de la place d'expériences : ici très abondant, quelquefois même à l'état pur, là assez rare et ne montrant que des pieds disséminés, comme perdus au milieu de larges taches de hêtre.

En 1882, la parcelle C4 n'avait pas encore été comprise par l'aménagement dans la liste des coupes d'amélioration périodiques. Par suite, jusqu'à cette époque, le peuplement de la place d'expériences n'a supporté que des nettoiements effectués sur propositions spéciales. Les produits ligneux réalisés dans ces nettoiements paraissent avoir été minimes, et nous les négligerons dans les calculs relatifs à la production du sol.

L'état complet du matériel au début des recherches, c'est-à-dire au mois d'octobre 1882, est résumé ci-après :

---

1. Ce chiffre représente l'âge *moyen* du peuplement, déduit des résultats fournis par les souches des tiges abattues pour la confection des tarifs de cubage. En général, nous avons compté 29 anneaux ligneux chez les hêtres, 27 chez les chênes, et seulement 22 chez les charmes qui sont pour la plupart des rejets nés à la suite d'un recepage. Quelques pieds de chêne, parmi les plus gros de l'essence, ont d'ailleurs la même origine et le même âge que les charmes.

TABLEAU A. — Matériel sur pied lors de l'installation. (Octobre 1881.)

ESSENCES.	PAR HECTARE.					CIRCONFÉRENCE de la tige.		
	Nombre de tiges.	Surface terrière.	VOLUME					
			Bois fort.	Menu bois.	Total.	Minima.	Maxima.	Moyenne.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Mèt. q.	Mèt. c.	Mèt. c.	Mèt. c.	Centim.	Centim.	Centim.
Hêtre[1]	8 474	15,20	45,9	48,9	94,8	3	60	15
Chêne[2].	2 604	6,26	18,1	18,8	36,9	3	53	17
Charme[3]	1 915	1,30	0,9	5,7	6,6	3	32	9
Diverses[4].	254	0,11	0,1	0,5	0,6	3	29	7
Peuplement entier. . .	13 247	22,87	65,0	73,9	138,9	3	60	15

1. *Fagus sylvatica*, Lin. — 2. *Quercus sessiliflora*, Smith. — 3. *Carpinus betulus*, Lin. — 4. Parmi les essences diverses, lesquelles ont été cubées avec le tarif du charme, nous nous bornerons à citer : *Sorbus torminalis*, Crantz ; *Populus tremula*, Lin. et *Salix caprea*, Lin.

Si nous nous reportons à l'époque de ce premier inventaire, nous constatons que sur la totalité des tiges dénombrées, il y en a environ 4,800 qui, appartenant soit aux catégories des perches *dominantes*, soit à celles des perches simplement *retardataires*, suffiraient, à elles seules, à constituer l'état de massif: ce sont approximativement celles qui mesurent plus de 12 centimètres de tour; leur circonférence moyenne est 22 centimètres; elles fournissent tout le bois fort et près des $^9/_{10}$ du volume total du peuplement. Les autres sujets, au nombre de plus de 8,000, sont tous ou presque tous *dominés* (catégories de 3 à 12 centimètres; moyenne 8 centimètres); ils forment une sorte *d'étage inférieur,* ou plutôt, un *remplissage* qui contribue à augmenter la densité du massif, mais n'ajoute qu'un appoint minime au cube des perches de l'autre groupe [1].

Ajoutons, pour dépeindre d'une façon plus complète la physiono-

1. En disant que l'état de massif pourrait exister sans le concours des sujets dominés, nous n'entendons nullement nous prononcer contre le maintien des tiges de l'espèce; l'étude du rôle que jouent ces tiges dans l'organisme complexe de la forêt ne rentre pas dans le cadre de notre travail. Nous n'avons établi la distinction (très approximative d'ailleurs) des deux étages inférieur et supérieur, que pour mieux faire ressortir la constitution intime du peuplement soumis aux recherches.

mie primitive du peuplement, que les tiges d'expérience abattues en vue de la confection du tarif de cubage propre à chaque essence ont donné, sous le rapport de la hauteur totale, les résultats moyens consignés dans le cadre suivant. On en peut déduire, *qu'à égalité de grosseur*, les chênes sont moins élevés que les hêtres, tandis qu'ils ont à peu près la même taille que les charmes.

		Mèt.	Mèt.	Mèt.	Mèt.	Mèt.	Mèt.	Mèt.	Mèt.	Mèt.	Mèt.
Hêtre	Circonférence à 1^m,30	0,06	0,10	0,13	0,18	0,23	0,30	0,40	0,45	0,52	0,62
	Hauteur correspondante	4,50	6,30	8,10	9,20	9,90	10,70	11,10	12,10	12,80	14,40
Chêne	Circonférence à 1^m,30	0,10	0,14	0,17	0,22	0,25	0,30	0,35	0,40		
	Hauteur correspondante	6,30	7,50	8,00	9,20	9,30	9,80	10,10	10,50		
Charme	Circonférence à 1^m,30	0,10	0,13	0,18	0,23	0,26					
	Hauteur correspondante	6,40	7,40	8,90	9,10	10,00					

Les chiffres du tableau A permettent :

1° De calculer la *production moyenne* du sol de la place d'expériences, *par hectare* et *par an*, depuis l'origine du peuplement : cette production égale $\frac{138,9}{28}$ ou 4^{mc},96, dont à peu près moitié de bois fort (2^{mc},32) et moitié de menu bois (2^{mc},64) ;

2° D'établir la proportion exacte des essences, ainsi que nous l'avons fait ci-dessous, en prenant successivement comme terme de comparaison : le nombre des tiges, la surface terrière et le volume total.

TABLEAU B. — Proportion des essences au début des recherches. (Octobre 1882.)

BASE DE CALCUL ADOPTÉE.	PROPORTION DES ESSENCES.			
	Hêtre.	Chêne.	Charme.	Diverses.
	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Nombre des tiges	64	20	14	2
Surface terrière	67	27	6	»
Volume total	68	27	5	»

On peut noter que les coefficients de proportionnalité basés sur la surface terrière et sur le volume sont à peu près égaux entre eux, tandis qu'ils s'écartent sensiblement des pour-cent calculés d'après le nombre des tiges. Ces différences s'expliquent aisément par les inégalités qui existent dans le calibre moyen des tiges et qui sont mises en évidence par la colonne 9 du tableau A.

Autre observation, motivée par les deux premiers chiffres de cette même colonne 9. — Bien que les chênes fussent un peu moins âgés que les hêtres, nos calculs leur ont attribué la supériorité pour la circonférence de la tige moyenne (17^{cm} contre 15^{cm}). *A priori,* il semblerait donc que la première de ces deux essences ait crû, *en grosseur,* plus vite que la seconde. Mais il n'en est rien. Ce qui est vrai, c'est que dans le cas actüel, la circonférence moyenne ne saurait servir de commune mesure à l'activité de la croissance, parce que les deux espèces ligneuses comparées n'ont pas subi le même déchet depuis l'origine du peuplement. Sous l'action prolongée du couvert, beaucoup de petits chênes avaient déjà disparu en 1882, qui, s'ils avaient été encore debout, auraient sensiblement diminué la grosseur moyenne de la tige de l'essence. Au contraire, du côté des hêtres, essence d'ombre, les pertes ont été beaucoup moindres dans la lutte pour l'existence; lors de notre comptage, le cortège des menues tiges était encore à peu près au complet : de là une valeur relativement faible pour la circonférence moyenne. Pour augmenter celle-ci de deux centimètres, il eût suffi de couper environ 1,500 baguettes ayant ensemble une surface terrière et un volume insignifiants.

IV. — Première opération d'éclaircie.

La première éclaircie a été effectuée immédiatement après l'inventaire d'installation. Ainsi que nous l'avons expliqué plus haut, on a cherché, en l'exécutant, à desserrer dans une mesure convenable la cime des perches que l'on a considérées comme *tiges d'élite* et qui, au nombre de 208[1], appartiennent toutes à l'essence chêne. Rien n'a

1. Par suite de l'inégale répartition du chêne sur les différents points de la place d'expériences, nous avons dû nous en tenir à ce chiffre, que nous n'aurions pas pu dépasser sans choisir des sujets trop rapprochés les uns des autres.

été fait en faveur des hêtres : ce n'est point là, toutefois, une exclusion définitive. Il est même probable que, plus tard, certains hêtres seront débarrassés de leurs voisins et recevront à leur tour des soins culturaux : mais, jusqu'à ce que le moment opportun soit arrivé, le comité des recherches, soucieux de ne point entraver l'élongation des fûts, a jugé que ces tiges devaient continuer à vivre en massif serré.

Le dégagement des 208 chênes d'avenir a été obtenu par l'extraction de perches prises exclusivement dans l'étage supérieur et appartenant pour la majorité à l'essence hêtre. L'étage inférieur, bien qu'il renfermât quantité de chênes dominés et languissants, n'a presque subi aucune exploitation : par suite d'une interprétation, peut-être trop rigoureuse, des principes qui caractérisent le mode d'éclaircie adopté, on s'est borné à couper, parmi les tiges dominées, une quarantaine de perchettes mortes ou tout à fait sur le point de périr.

Avant de façonner en marchandises courantes les sujets désignés pour l'abatage, nous avons eu soin de calculer leur volume en nous servant des tarifs d'inventaire. La comparaison de ce volume (tableau C) avec celui du matériel initial (tableau A) fait connaître l'*intensité relative* de la coupe. On voit ainsi que l'éclaircie a enlevé au peuplement : 3 p. 100 du nombre des tiges, 10 p. 100 de la surface terrière, 15 p. 100 du bois fort, 8 p. 100 du menu bois et 11 p. 100 du cube total.

Conformément aux prescriptions de la circulaire n° 145, nous avons inscrit dans le tableau C le poids des produits exploités. Comme cette circulaire est muette sur le degré de dessiccation que les bois doivent avoir au moment du pesage, nous avons calculé l'élément dont il s'agit en multipliant le cube total de chaque essence (col. 6) par la densité déterminée immédiatement après l'abatage. Les poids spécifiques moyens ainsi obtenus sont : $1^{kg},05$ pour le hêtre et $0^{kg},95$ pour le chêne, ainsi que pour le charme.

TABLEAU C. — Matériel enlevé par la première éclaircie. (Octobre 1882.)

ESSENCES.	PAR HECTARE.						CIRCONFÉRENCE de la tige.		
	Nombre de tiges.	Surface terrière.	VOLUME. Bois fort.	Menu bois.	Total.	Poids.	Minima.	Maxima.	Moyenne.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Mèt. q.	Mèt. c.	Mèt. c.	Mèt. c.	Kilog.	Centim.	Centim.	Centim.
Hêtre	250	1,56	6,9	3,8	10,7	11 235	10	60	28
Chêne.	111	0,67	3,0	1,4	4,4	4 180	14	43	27
Charme	62	0,10	0,1	0,5	0,6	570	6	26	14
Peuplement entier.	423	2,33	10,0	5,7	15,7	15 985	6	60	26

Observations : Le calibre moyen des sujets exploités (26 centimètres) est presque le double de la circonférence de la tige moyenne du peuplement (15 centimètres) : c'est bien là une preuve que la coupe a principalement porté sur l'étage dominant.

Voici maintenant le relevé des produits façonnés :

	STÈRES de rondins.	FAGOTS.	
Hêtre	9,50	128	(de 1 mètre de tour et $1^m,50$ de long).
Chêne	4,50	42	(— —).
Charme. . . .	0,20	10	(— —).
Soit en tout. .	14,20	180	valant ensemble, *sur pied,* 123 fr.

Quant à la situation du matériel restant debout après l'éclaircie, elle est résumée dans le tableau D qui va nous servir, conjointement avec les données du second inventaire, à calculer l'accroissement incorporé durant les 6 années 1883 à 1888 inclusivement.

TABLEAU D. — Matériel restant sur pied après la première éclaircie. (Oct. 1882.)

ESSENCES.	PAR HECTARE.					CIRCONFÉRENCE de la tige.		
	Nombre de tiges.	Surface terrière.	VOLUME. Bois fort.	Menu bois.	Total.	Minima.	Maxima.	Moyenne.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Mèt. q.	Mèt. c.	Mèt. c.	Mèt. c.	Centim.	Centim.	Centim.
Hêtre.	8 224	13,64	39,0	45,1	84,1	3	58	14
Chêne	2 493	5,59	15,1	17,4	32,5	3	53	17
Charme.	1 853	1,20	0,8	5,2	6,0	3	32	9
Diverses	254	0,11	0,1	0,5	0,6	3	29	7
Peuplement entier .	12 824	20,54	55,0	68,2	123,2	3	58	14

V. — Deuxième inventaire général. — Accroissement périodique. Taux d'accroissement. Production annuelle moyenne jusqu'en 1888.

Deuxième inventaire. — C'est au mois d'octobre 1888 qu'a été exécuté le deuxième inventaire général du peuplement. Les résultats en sont indiqués ci-après dans le tableau E.

Constatons de suite qu'au lieu des 12,824 tiges laissées debout par la première éclaircie (tableau D, col. 2), le comptage de 1888 en mentionne seulement 12,270, d'où un déficit de 554 tiges, ainsi réparties : 55 hêtres, 373 chênes, 78 charmes et 48 diverses. Ces 554 sujets disparus, et dont la grande majorité sont des chênes, représentent le *déchet naturel* du peuplement : ce sont de menues gaules qui, ayant péri après le passage de l'éclaircie, sont tombées en pourriture ou ont été recueillies par les ramasseurs de bois mort.

TABLEAU E. — Matériel sur pied lors du deuxième inventaire. (Octobre 1888.)

ESSENCES.	PAR HECTARE.					CIRCONFÉRENCE de la tige.		
	Nombre de tiges.	Surface terrière.	VOLUME.					
			Bois fort.	Menu bois.	Total.	Minima.	Maxima.	Moyenne.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Mèt. q.	Mèt. c.	Mèt. c.	Mèt. c.	Centim.	Centim.	Centim.
Hêtre	8 169	18,22	66,2	54,1	120,3	3	71	17
Chêne	2 120	6,53	22,2	17,9	40,1	3	58	19
Charme	1 775	1,31	1,3	5,5	6,8	3	36	10
Diverses	206	0,13	0,1	0,6	0,7	3	33	9
Peuplement entier	12 270	26,19	89,8	78,1	167,9	3	71	16

Accroissement périodique et taux d'accroissement. — Aucune réalisation de matériel n'a été opérée durant l'intervalle de six années qui s'est écoulé entre la première éclaircie et le deuxième inventaire. Par conséquent, les différences entre les cubes des tableaux E et D représentent l'accroissement incorporé par chaque essence en particulier, et par l'ensemble du peuplement au cours de la pé-

riode sexennale considérée. En divisant par 6 ces *accroissements périodiques,* nous avons obtenu les *accroissements annuels moyens* qui figurent au tableau F.

Ce cadre contient aussi les *tant pour cent d'accroissement,* que nous avons calculés en rapportant les chiffres d'accroissement annuel aux nombres de la colonne 6 du tableau D.

TABLEAU F. — Accroissement annuel moyen périodique et taux d'accroissement. (Période sexennale 1883-1888.)

ESSENCES.	ACCROISSEMENT annuel moyen périodique par hectare.			TAUX D'ACCROISSEMENT.		
	Bois fort.	Menu bois.	Volume total.	Bois fort.	Menu bois.	Volume total.
1	2	3	4	5	6	7
	Mèt. cub.	Mèt. cub.	Mèt. cub.	P. 100	P. 100.	P. 100.
Hêtre	4,53	1,50	6,03	5.39	1.78	7.17
Chêne.	1,19	0,08	1,27	3.66	0.25	3.91
Charme	0,08	0,05	0,13	1.33	0.83	2.16
Diverses.	»	0,02	0,02	»	0.33	3.33
Peuplement entier . . .	5,80	1,65	7,45	4.71	1.34	6.05

Les résultats numériques qui précèdent n'ont pas besoin de commentaires. Nous nous bornerons donc à signaler :

1° *La valeur élevée des chiffres qui expriment l'accroissement annuel* (7^{mc},45) et le *taux d'accroissement* (6.05 p. 100) du massif soumis aux recherches ;

2° L'*importance relative du bois fort dans le contingent total d'accroissement* (0.8 contre 0.2 seulement pour le menu bois) ;

3° Enfin *les écarts considérables qui existent entre les taux d'accroissement du hêtre* (7.17), *du chêne* (3.91) et *du charme* (2.16). Ces coefficients signifient que, pour engendrer annuellement 1 mètre cube de hêtre, un volume initial de ($\frac{100}{7,17}$=) 13^{mc},9 a suffi, tandis que, pour donner naissance à 1 mètre cube de chêne et à 1 mètre cube de charme, il a fallu des volumes générateurs respectivement égaux à ($\frac{100}{3,91}$=) 25.6 et ($\frac{100}{2.16}$=) 46.4 mètres cubes. En d'autres termes, les trois essences dont il s'agit ont eu pour *deniers d'accroissement* respectifs : 13.9, 25.6 et 46.4.

Production annuelle moyenne. — Si, comme nous l'avons déjà fait page 5, on laisse de côté les bois coupés avant 1882 dans les nettoiements, il est clair que, depuis la naissance du peuplement jusqu'au mois d'octobre 1888, soit pour 34 années, la production ligneuse totale de l'hectare occupé par la place d'expériences se compose : d'abord du matériel réalisé dans la première éclaircie (tableau C), puis du matériel sur pied lors du second inventaire (tableau E). Par suite, pour connaître la production annuelle moyenne correspondant au laps de temps considéré, on n'a qu'à diviser par 34 la somme des cubes similaires contenus dans les deux tableaux précités. Les quotients ainsi obtenus sont : $2^{mc},94$ pour le bois fort, $2^{mc},46$ pour le menu bois et $5^{mc},40$ pour le volume total.

Le rapprochement de ces chiffres avec ceux qui figurent à la page 5 conduirait à penser que la production moyenne est déjà dans la phase descendante pour le menu bois.

VI. — Deuxième opération d'éclaircie.

L'inventaire dont nous venons d'indiquer les résultats a été suivi d'une opération d'éclaircie que justifiait non seulement le souci de favoriser l'essor des chênes d'avenir, mais encore la nécessité de réaliser dans l'étage dominé, d'abord les tiges complètement sèches, puis les sujets dépérissants que l'expérience des six dernières années permettait de considérer comme voués à une mort très prochaine.

Le relevé des bois livrés à l'exploitation se trouve dans le tableau G. Afin de mieux faire ressortir la nature de l'éclaircie pratiquée, nous avons rangé ces bois dans deux groupes distincts, sous les rubriques conventionnelles de : *étage inférieur* et *étage supérieur*. Le premier de ces groupes, qui s'arrête à la catégorie de grosseur $0^{m},15$, renferme à peu près uniquement des sujets dominés, extraits pour cause de mort ou de dépérissement accentué. L'autre groupe, au contraire, peut, sans erreur bien sensible, être considéré comme renfermant exclusivement les perches dominantes ou à peine retardataires, coupées dans un but véritablement cultural, c'est-à-dire dans l'intérêt des chênes d'élite.

Le poids des produits exploités a été déterminé par l'emploi du même procédé et des mêmes densités que pour la première éclaircie. On a appliqué aux essences dites *diverses* le poids spécifique du charme.

TABLEAU G. — Matériel enlevé par la deuxième éclaircie. (Octobre 1888.)

ESSENCES.	PAR HECTARE.						CIRCONFÉRENCE de la tige.		
	Nombre de tiges.	Surface terrière.	VOLUME.			Poids.			
			Bois fort.	Menu bois.	Total.		Minima.	Maxima.	Moyenne.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Mèt. q.	Mèt. c.	Mèt. c.	Mèt. c.	Kilogr.	Centim.	Centim.	Centim.
Étage inférieur. Hêtre. . .	358	0,09	»	0,8	0,8	840	3	15	6
Étage inférieur. Chêne . . .	1 095	1,03	»	4,6	4,6	4 370	3	15	11
Étage inférieur. Charme. . .	255	0,07	»	0,3	0,3	105	3	15	6
Étage inférieur. Diverses . .	17	0,01	»	0,1	0,1	95	4	14	10
Totaux.	1 725	1,20	»	5,8	5,8	5 410	3	15	9
Étage supérieur. Hêtre. . .	166	1,39	6,3	3,2	9,5	9 975	16	69	32
Étage supérieur. Chêne . . .	158	0,53	1,4	1,8	3,2	3 040	16	46	21
Étage supérieur. Charme. . .	5	0,02	»	0,1	0,1	95	16	31	22
Étage supérieur. Diverses . .	7	0,02	»	0,1	0,1	95	16	20	19
Totaux.	336	1,96	7,7	5,2	12,9	13 205	16	69	27
Peuplement entier.	2 061	3,16	7,7	11,0	18,7	18 615	3	69	14

L'examen de ce tableau nous suggère les remarques suivantes :

1° Sur les 2061 sujets exploités, il y en a 1725, *soit plus des $\frac{8}{10}$ qui appartiennent à l'étage inférieur* et qui, à de rares exceptions près, ont été enlevés pour cause de mort ou de dépérissement accentué.

2° Les tiges livrées de ce chef à l'abatage sont fort inégalement réparties entre les diverses essences du peuplement. *A lui seul, le chêne en a fourni $\frac{6}{10}$, c'est-à-dire un nombre triple de celui qui correspondrait à son coefficient de proportionnalité* (voir tableau B). Il y a là une preuve frappante de la rapidité avec laquelle cette essence précieuse serait éliminée par le hêtre et disparaîtrait de notre peuplement, si elle n'était l'objet d'une protection spéciale. On peut, en effet, tenir pour certain que, sans les soins culturaux qui leur seront

prodigués au passage de chaque éclaircie, sans les desserrements énergiques qui les soustrairont aux empiétements incessants des hêtres voisins, les 208 chênes que nous avons distingués et réputés sujets d'avenir n'auraient eux-mêmes qu'une existence précaire et fort limitée [1].

3° Abstraction faite des produits de l'étage inférieur, les extractions comprennent : 3 p. 100 du nombre des tiges, 8 p. 100 du bois fort, 7 p. 100 du menu bois et 8 p. 100 du volume total existant lors du second inventaire.

4° Si, au contraire, on tient compte des perches abattues dans l'étage dominé, l'intensité relative de l'éclaircie se traduit par les coefficients ci-après : 16 p. 100 du nombre des tiges, 8 p. 100 du bois fort, 14 p. 100 du menu bois et 11 p. 100 du matériel total. Ce dernier coefficient est exactement égal à celui que nous avons trouvé pour la première éclaircie.

5° Les 18^{mc},7 réalisés dans l'ensemble du peuplement représentent environ les 2/5 de l'accroissement incorporé durant l'intervalle qui a séparé les deux coupes de 1883 et 1888.

Après façonnage, les bois abattus ont fourni les marchandises suivantes :

	STÈRES de rondins.	FAGOTS.	
	—	—	
Hêtre.	10,40	135	(de 1 mètre de tour et 1^{m},50 de long).
Chêne.	2,00	152	(— —).
Charme et essences diverses.	»	12	(— —).
Au total. . .	12,40	299	ensemble d'une valeur *nette* de 130 fr.

Nous terminerons cet exposé en indiquant la situation du matériel restant sur pied après le passage de la seconde éclaircie. Cette situa-

1. Bien entendu, cette conclusion est purement locale. Elle ne vaut que pour la station qui nous occupe et pour les stations analogues. Si dans notre place d'expériences, le hêtre et le chêne luttent avec des chances inégales, cela tient surtout à ce que le climat et le sol du plateau de Haye sont plus favorables à la première de ces espèces qu'à la seconde. Avec d'autres conditions de milieu, les chances de succès pourraient être complètement renversées, comme c'est le cas dans certaines forêts du centre de la France, ou même, dans la région du Nord-Est, sur les sols compacts et humides.

tion, qui servira de point de départ pour une nouvelle période d'investigations [1], fait l'objet du tableau H. Sauf pour les chiffres des colonnes 7 à 9, elle résulte évidemment de la différence entre les données des tableaux E et G.

Les 208 chênes d'élite ont été séparés des autres sujets de l'essence, afin qu'on puisse, par la suite, étudier spécialement la marche de leur végétation [2].

En outre, nous avons adopté, pour la totalité du peuplement, une distinction analogue à celle que le tableau E renferme pour chaque essence : en regard de la lettre I (étage *inférieur*) figurent les tiges de moins de 0m,16 de tour, surcimées ou réputées telles ; inversement, la lettre S désigne l'étage *supérieur*, c'est-à-dire l'ensemble des perches de 0m,16 et au-dessus, jugées capables, à elles seules, d'assurer l'état de massif.

TABLEAU H. — Matériel restant sur pied après la deuxième éclaircie. (Octobre 1888.)

ESSENCES.	PAR HECTARE.					CIRCONFÉRENCE de la tige.		
	Nombre de tiges.	Surface terrière.	VOLUME.					
			Bois fort.	Menu bois.	Total.	Minima.	Maxima.	Moyenne.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Mèt. q.	Mèt. cub.	Mèt. cub.	Mèt. cub.	C.	Cent.	Cent.
Hêtre	7 645	16,74	59,9	50,1	110,0	3	71	17
Chêne. Tiges d'élite	208	1,83	9,3	3,3	12,5	18	57	33
Chêne. Autres sujets	659	3,14	11,5	8,2	19,8	12	58	24
Chêne (total)	867	4,97	20,8	11,5	32,3			27
Charme	1 515	1,22	1,3	5,1	6,4	3	36	11
Diverses	182	0,10	0,1	0,4	0,5	3	33	8
Peuplement entier. I	7 177	4,23	»	20,0	20,0	3	15	9
Peuplement entier. S	3 032	18,80	82,1	47,1	129,2	16	71	28
Peuplement entier (total)	10 209	23,03	82,1	67,1	149,2	3	71	17

On remarquera que, par rapport à la situation existant après le

1. Le plan d'exploitation actuellement en vigueur pour la forêt domaniale de Haye prescrit une coupe d'éclaircie, pour l'exercice 1895, dans la parcelle G^4 de la 8e série de futaie. C'est donc à cette époque qu'aura lieu la 3e éclaircie dans la place d'expériences qui nous occupe.

2. Sur le terrain, ces sujets d'élite ont reçu comme marque distinctive une seconde ceinture de couleur placée à deux mètres au-dessus du sol.

passage de la première éclaircie, ce tableau accuse, pour le cube du menu bois, une légère diminution, tandis qu'il y a augmentation sensible pour le bois fort et le volume total.

Un autre fait digne d'être noté, c'est que, *dans un laps de 6 ans,* par suite du déchet naturel et des deux éclaircies opérées en 1882 et 1888, *le peuplement a perdu 3,038 tiges, soit 23 p. 100 de la quantité initiale.* Dans le même intervalle de temps, le nombre des perches jugées suffisantes pour assurer l'état de massif simple (étage supérieur) a passé de 4800 à 3000 [1].

Enfin, il est bon de constater que l'étage supérieur, considéré isolément, ne saurait pas encore être taxé de *bas perchis,* puisque le *diamètre* moyen des tiges qui le composent n'atteint pas $0^{m},10$.

Nancy, le 15 décembre 1888.

L'Inspecteur adjoint des forêts,
BARTET.

---

1. Ces deux chiffres, bien entendu, ne sont qu'approximatifs; ils ne reposent que sur des appréciations, et il est fort possible que le premier, notamment, soit un peu exagéré.

RECHERCHES

SUR LES

FORMES NATURELLES DE L'HUMUS

ET LEUR INFLUENCE

SUR LA VÉGÉTATION ET LE SOL

Par le Dr P. E. MULLER



INTRODUCTION

Lorsqu'on étudie l'état naturel de nos essences forestières dans leur zone de croissance, on rencontre des difficultés considérables pour établir leur répartition dans le terrain, suivant un rapport direct avec les propriétés chimiques du sol, ainsi qu'on l'admet ordinairement. Les plantes calcicoles, silicicoles et à potasse, etc., se trouvent les unes à côté des autres, sans que la main de l'homme en soit la cause, et l'origine géognostique du sol peut être aussi différente que possible, sans qu'une des essences principales de la forêt en soit exclue pour cela. Ainsi le hêtre, considéré d'ordinaire comme un type de plante calcicole, n'existe pas seulement sur les formations calcaires des Alpes, du massif du Jura et des couches marneuses du Nord de la France, du plateau crétacé de Normandie et des sols marneux du Danemark, mais il se développe aussi magnifiquement sur les massifs granitiques des Vosges, les formations arénacées de ces massifs et des monts du Weser. Il émigre avec une grande facilité vers les sols sableux, maigres et pauvres en chaux, qui recouvrent les étendues si considérables des grandes

plaines environnant la mer Baltique. On peut faire des observations tout à fait semblables relativement à la présence du pin commun, considéré comme plante silicole, et de la plupart de nos essences qu'on rencontre sur tous les sols.

Mais il paraît tout aussi difficile de décider quelle formation géognostique peut être considérée comme la patrie d'un arbre, en tant qu'il s'agit de nos essences ordinaires, de dire sur quel sol il se développe naturellement en toute plénitude et avec toute sa vigueur. Car, sur presque tous les sols, on peut observer une croissance parfaite aussi bien qu'un développement mauvais et maladif de la même essence. Si l'on élimine de toute la série de pareilles observations, les cas qui peuvent s'expliquer par une inégalité de climat, des différences dans la profondeur du sol et l'éloignement de la nappe d'eau souterraine, il reste encore certains cas où la même essence se développe d'une façon absolument différente sur la même formation géognostique. Quand on fait abstraction de tels peuplements qui croissent sur les diverses sortes de formations, particulièrement maigres et pauvres en éléments nutritifs, aussi bien que de ceux qui, par suite d'un mauvais traitement, ont souffert, dans le sens agricole du mot, d'un appauvrissement du sol, on n'arrive cependant pas à avoir une explication entièrement claire des différences dans le développement de ces peuplements. Une étude attentive de ces conditions démontrera pourtant qu'il existe une similitude évidente et extraordinaire de l'état physique du sol sur tous les emplacements qui portent une végétation luxuriante. De même, pour les sols sur lesquels se trouvent de mauvais peuplements, il existe une concordance évidente, par rapport aux propriétés physiques, entre les sols de nature la plus différente, si l'on fait abstraction des observations dans lesquelles les rapports de croissance s'expliquent par des causes analogues à celles mentionnées plus haut.

Ces observations faites à l'origine, au cours de voyages entrepris par l'auteur dans les forêts de l'Europe centrale et, plus tard, dans les forêts danoises, ont attiré son attention sur l'état physique du sol, comme facteur essentiel de la fertilité du sol forestier. Il semble que ce point mérite d'autant plus d'être étudié que, jusqu'à présent, peu d'attention a été accordée à cette question par les auteurs qui

ont contribué à la théorie de la sylviculture. De plus, certes, l'application à la sylviculture des résultats et des méthodes expérimentales de la chimie agricole dépend de la compréhension juste de ces différences entre ces deux formes de culture du sol, qui sont en rapport avec les états physiques différents du sol préparé par un travail préliminaire, pour la culture des plantes et du sol destiné à la sylviculture, qui ne reçoit aucune préparation. Il n'a jamais été fait de recherche qui explique clairement la signification de cette différence.

Pour l'étude des propriétés physiques du sol forestier, l'auteur a jugé nécessaire d'employer d'autres moyens que ceux dont on se sert ordinairement pour les recherches sur le sol, c'est-à-dire les méthodes d'analyse chimique et les expériences physiques. Le sol forestier a été préparé de la même façon que pour des recherches sur les conditions de structure d'un organisme et on s'est servi pour cela des mêmes moyens de dissection et des procédés microscopiques. Les parties séparées du sol ont été examinées en place, dans leurs circonstances de gisement naturelles et l'analyse chimique n'a été appelée à l'aide que pour expliquer, quand c'était possible, les conditions pour lesquelles l'œil ne pouvait donner aucun éclaircissement.

Vraisemblablement, on n'aurait pu employer avec succès un pareil procédé pour les études sur la terre arable, où le défrichement et le labourage, l'essartage et le roulage, la fumure et le marnage, etc., peuvent avoir détruit de diverses façons la structure primitive du sol. En forêt, au contraire, où le sol n'a jamais été soumis à l'action de facteurs autres que ceux que la nature elle-même met en action, on est en droit d'espérer, si le matériel d'études a été choisi avec soin, de pouvoir, dans une voie bien tracée, jeter un coup d'œil sur la connexion organique des phénomènes.

Au premier abord, il peut sembler déraisonnable de vouloir étudier, comme un tout organisé et homogène, un mélange aussi complexe que celui des sols d'alluvion. Combien de forces multiples et variées ne sont-elles pas entrées en mouvement, pour transformer la matière qui, déjà à son origine, était formée d'un agrégat varié ! On devait croire que la puissante influence de la végétation, le tra-

vail incessant des organismes animaux, l'œuvre ininterrompue de métamorphose des phénomènes physiques et chimiques, tout cela réuni devait donner naissance à un produit si varié qu'il ne pouvait pas être question de trouver là l'image d'un champ ordonné avec des caractères bien définis. Mais l'étude montre que du conflit des actions multiples ne sont pas sortis des états chaotiques, mais des formes déterminées, si bien que même ils peuvent être considérés aussi bien comme des types variés du sol forestier qui n'a subi aucun changement, que comme un ensemble organisé. Comme partout, dans la nature, les types n'ont aucune délimitation bien tracée, ils passent de l'un à l'autre, mais ils peuvent pourtant être considérés et caractérisés par des traits essentiels.

La série des présentes études n'est pas un travail scientifique, dans le sens étroit du mot, mais doit être avant tout envisagée comme une étude pratique présentée sous une forme populaire de vulgarisation aidée de la science. Elle n'aurait pu être conduite d'après le plan suivant lequel l'auteur voulait poursuivre ses recherches, sans l'excellent concours que le professeur Tuxen lui a prêté par ses analyses habiles et exécutées avec le plus grand soin.

I

Sur les formes d'humus des forêts de hêtres sur le sable et sur l'argile (1878).

Lorsqu'on étudie les couches supérieures du sol forestier, on est conduit à les séparer et à les grouper d'après les phénomènes analogues ou très différents qui les caractérisent essentiellement. Comme dans toute classification, il faut commencer à chercher des types bien nets qui représentent un petit nombre de formes dominantes à caractères bien déterminés.

Parmi les formes variées qu'on rencontre dans le sol des forêts de hêtres, j'en ai étudié particulièrement deux dont le caractère, l'origine et la signification pratique, si différents les uns des autres,

établissent entre elles une démarcation bien tranchée. Les distinctions relatives aux couches superficielles des forêts de hêtres me semblent devoir être facilement groupées autour de ces deux types. Je commencerai par étudier à fond ces deux formes d'humus, j'étendrai ensuite cette étude à quelques-unes des formes qui en sont voisines et je terminerai par des vues théoriques et pratiques sur les faits qui découlent de ces observations.

Une classification exige une nomenclature. Le naturaliste suédois de Post a déjà proposé différentes désignations pour les dépôts à restes organiques qui recouvrent le sol situé au-dessous des eaux douces : mais on désigne jusqu'ici uniformément, sous le nom d'humus, les accumulations qui existent à la surface des terrains secs. Mais, lorsqu'on veut distinguer essentiellement quelques espèces d'humus, ce qui paraît désirable, il est bon d'adopter des dénominations simples, abréviatives, et je propose de donner aux deux types principaux des dépôts humiques des forêts de hêtres, les noms de *Mull* (terreau) et de *Torf* (tourbe).

On ne peut naturellement donner une explication précise de ces dénominations avant d'avoir établi par une étude poussée assez loin la caractéristique (diagnose) de chacun de ces dépôts.

A titre de renseignement général, je ferai tout de suite observer que j'ai nommé « Mull » (terreau) la forme qui se rapproche le plus des variétés de mélanges humiques qu'on rencontre dans les sols arables et dans les jardins, tandis que je désigne par le mot « tourbe » la forme qu'on ne saurait confondre avec la première, qui est due au travail longtemps prolongé du sol et aux cultures qui s'y sont succédé. Le terme tourbe ne désigne pas seulement les amas de restes végétaux accumulés dans les tourbières et dans les lieux humides, mais aussi la couche supérieure qu'on rencontre dans les terrains secs, couche humique, tenace, sur laquelle on rencontre certaines plantes spéciales (bruyères, herbes, etc.). J'ai étendu à ces terres la dénomination de tourbe. L'expression allemande *kohliger Humus* (humus charbonneux) serait, d'après l'emploi qu'en font la plupart des auteurs, à peu près synonyme du mot tourbe, tandis que le nom *milder Humus* (humus doux) correspondrait à peu près au terme *Mull* (en danois *muld*).

OBSERVATIONS

Terreau de hêtre (Buchenmull).

Plantes caractéristiques. — On sait que la flore forestière est composée de plantes phanérogames assez différentes et de caractères divers suivant les conditions où se trouve la forêt. D'ordinaire la nature de la flore est en relation étroite avec l'état plus ou moins ombreux et avec la teneur en principes nutritifs des débris qui constituent la couverture. Ces circonstances jouent sans doute un rôle essentiel dans la composition de la végétation qui doit vivre sur le couvert, mais il semble être demeuré inaperçu que le mode et la nature des décompositions des restes organiques sur le sol forestier impriment leur cachet à la végétation du sol, favorisant le développement de certaines espèces, entravant celui de certaines autres.

L'*Asperula odorata* est tout particulièrement caractéristique pour le terreau de hêtre ; à côté d'elle on rencontre une série de plantes bien connues parmi lesquelles je citerai les *Mercurialis perennis, Milium effusum, Nedica uniflora, Stellaria nemorum,* fréquemment aussi l'*Oxalis acetosella,* l'anémone des bois (*Anemone nemorosa*), etc.

Sur le terreau bien caractérisé, ou bien il ne vient jamais de mousses, ou l'on n'y rencontre que quelques petites touffes isolées de *Polytrichum formosum* (Hdw.). Cette végétation forestière, si l'on pouvait lui donner ce nom, se développe avec toute son intensité dans les forêts de hêtres fertiles ; elle subit, à la vérité, d'importantes modifications dans sa composition et dans sa manière d'être, dans différentes places de la forêt, mais elle constitue malgré cela un bon caractère distinctif du terreau par opposition à la tourbe.

Aspect du sol. — Le sol, dans une forêt reposant sur le terreau, est recouvert d'une couche plus ou moins épaisse de débris des arbres, feuilles, branchettes, écailles de bourgeons, inflorescences, enveloppes de fruits, etc. Ces débris gisent isolés les uns sur les autres. Çà et là, on rencontre bien deux ou trois feuilles réunies par un mycélium blanc épais, mais prise dans son ensemble, la masse des détritus est formée de fragments isolés éparpillés sur le sol.

Lorsqu'on écarte la couverture, la surface brun noirâtre ou brun grisâtre du sol a un aspect graveleux ou granuleux. La ligne de démarcation entre la couverture et le sol, entre les détritus indécomposés et les restes organiques tout à fait désagrégés et pourris, est d'ordinaire tout à fait tranchée : il en résulte que, lorsqu'on écarte à la main la couverture, on a sous les yeux le terreau pur, mêlé seulement à quelques branchettes ou enveloppes de fruits tombés des hêtres.

Vient-on à creuser cette terre, elle se montre aussi complètement meuble que la terre de champ ou de jardin la mieux travaillée. On constate déjà cette propriété rien qu'en marchant dans la forêt ; le pied s'enfonce à chaque pas, comme dans un sol labouré. La couche superficielle, sur une épaisseur d'environ 3 pouces (0^m,078), est plus foncée que le dessous, souvent tout à fait brun noir, brun gris lorsqu'elle est desséchée, et possédant l'aspect granuleux et sablonneux de la surface.

Cette couche passe progressivement à la forme qui est propre au sous-sol, la profondeur de la bande superficielle variant de 3/4 de pied à 2 pieds (environ 0^m,230 à 0^m,628), quelquefois s'étendant jusqu'à 3 à 4 pieds (0^m,941 à 1^m,569) et plus au-dessous de la surface.

La terre conserve, à ces profondeurs variables, sa porosité et son ameublissement, mais sa couleur peut varier, bien que, dans un même emplacement, elle demeure complètement uniforme dans toute la masse. Parfois la couleur de cette couche est brun-gris foncé comme la bonne terre de jardin bien travaillée : le sol semble alors constitué par des couches de terreau d'une puissance de 4 à 5 pieds (1^m,255 à 1^m,569), quelquefois la teinte est plus claire et rappelle la couleur ocreuse des argiles jaune du Danemark. Aussi loin que se sont étendues jusqu'ici mes observations, elles me conduisent à admettre que la couleur dans les formations de ce genre, n'est pas une condition essentielle du sol, bien que les praticiens pensent tout autrement lorsqu'ils réservent le nom de terreau pour les sols foncés et considèrent comme sous-sol la terre moins colorée.

Comme l'analyse chimique montre qu'il y a autant de matière organique dans la couche profonde du terreau que dans la couche superficielle et que toutes deux semblent par toutes leurs propriétés

appartenir à des formations analogues (voir Profil I à III sur la planche 1), je désignerai, sans m'arrêter à la couleur de la couche, par l'expression *terreau*, la couche supérieure de couleur foncée et nettement graveleuse ; la couche inférieure à celle-là prendra le nom de sous-sol.

Partout, même dans les sols légèrement argileux, j'ai toujours observé une limite bien tranchée entre le sous-sol proprement dit et le sol. Lorsqu'on creuse, on constate le passage d'une couche complètement poreuse et meuble à une couche plus ferme ; cette fermeté est parfois si grande, dans la partie supérieure du sous-sol, qu'on a de la peine à le fouiller et que la bêche fortement pressée ne pénètre qu'à un à deux pouces ($0^m,0261$ à $0^m,0523$) dans la terre.

La différence des deux couches est également reconnaissable à l'œil ; la partie supérieure du sous-sol, en dehors de la grande ténacité, est reconnaissable à sa coloration fréquemment blanchâtre comparativement à celle des couches sus et sous-jacentes (Profils du tableau I et fig. 9). Lorsque cette couche blanchâtre est assez puissante, on y remarque fréquemment des taches et des veines colorées, comme il s'en présente dans les parties plus profondes du sous-sol, par de l'oxyde de fer hydraté. La limite entre le sol et cette couche solide blanchâtre, qui a d'ordinaire une puissance de 1/2 à 2 pieds ($0^m,157$ à $0^m,628$), est souvent assez nette, mais elle forme rarement sur de longs espaces une ligne horizontale. Le sol plonge fréquemment par languettes dans le sous-sol ou bien la limite de séparation est ondulée et irrégulière. J'ai rencontré cette couche blanche et solide dans les différents points des forêts de la mer du Nord, dans lesquels j'ai creusé les sols pas tout à fait exempts d'argile, jusqu'à la profondeur à laquelle j'atteignais la limite de la couche poreuse (Store Hareskow, Gelsskov, Rungstedhegn, Gribskov, forêts domaniales de l'Odsharde); j'en conclus que cette formation est généralement répandue dans les forêts de hêtres reposant sur les sols à *Mull* (terreau). Dans la seule forêt de Stokkebjerg, dans l'Odsharde, je n'ai pas rencontré cette couche décolorée à la surface du sous-sol. Cette surface passe, par une limite incertaine qu'une coupe bien nette permettrait seule de saisir, de la couche ordinaire peu tenace, inégalement de couleur ocreuse et fendillée, à un lehm sableux qui

forme le fond des couches dans lesquelles la végétation vient chercher ses aliments. Dans les sols franchement sableux, maigres, les limites entre les couches superficielles et profondes (sous-sol) ne semblent plus pouvoir être distinguées.

Analyse microscopique et mécanique. — Les éléments graveleux et grumeleux de la couche propre de terreau, au microscope, se montrent partout constitués par un mélange intime de matières organiques et d'éléments minéraux. Aux premières appartiennent des grumeaux d'une masse de plantes associées à quelques restes d'animaux, à divers états de division, mais dont la structure est encore nettement reconnaissable. Beaucoup plus bas, la forme des fragments est plus incertaine, les restes organisés sont dissous en quelque sorte dans une masse qui n'offre plus que de rares traces d'organisation et qui ont l'aspect de détritus organiques indéterminables. Les grumeaux isolés sont toujours poreux et se laissent écraser facilement par une légère pression de la lame de verre qui les recouvre.

Lorsqu'on met dans l'eau la partie inférieure du terreau, elle se résout en grains d'un diamètre variant de 5 millimètres aux plus petites dimensions, toujours caractérisés d'ailleurs, quelle que soit leur finesse, par un mélange intime de restes organiques avec du sable, des grains de feldspath et autres éléments minéraux. Les parties les plus profondes du terreau ne peuvent plus, sans le microscope, être distinguées du sous-sol.

Le sous-sol se distingue par une homogénéité parfaite de consistance, de coloration, par la proportion des substances qui le constituent, etc., et finalement en ceci : les éléments tantôt colorés comme le terreau, tantôt de couleur se rapprochant plus de l'ocre, et qui donnent la teinte particulière à cette couche, enveloppent des particules minérales, toutes de plus grandes dimensions que celles du terreau.

Il est très difficile de donner une description claire de cette masse incrustante : elle consiste, en partie, en éléments qui paraissent amorphes, partie en petits corps (cristallisés ?) de toutes grosseurs, jusqu'aux plus faibles dimensions, qu'on a même peine à distinguer avec les plus forts grossissements. L'homogénéité complète de la

masse est le signe distinctif de cette couche : les corps humiques qui lui communiquent partiellement sa couleur ne peuvent pas être distingués comme éléments isolés, sous le champ du microscope ; la coloration appartient essentiellement à la masse elle-même.

A la loupe, on reconnaît aisément que la ténacité si fréquemment constatée dans la couche supérieure du sous-sol, ne dépend pas de la densité, mais doit être attribuée à son mode d'agrégation. La structure en est même poreuse, parfois comparable à celle d'un tuf fin. Les particules qui composent cette couche sont reliées les unes aux autres et agglomérées par des ponts, des murs et des planches formant un système de canaux déliés et enchevêtrés dont les parois sont fréquemment colorées par des dépôts de matière humique et à travers lesquelles, par-ci par-là, des fibres végétales se sont tracées un chemin. L'eau doit pouvoir s'infiltrer facilement à travers la masse et là où elle pénètre je n'ai jamais constaté aucun signe de formation marécageuse.

Quand on creuse la partie superficielle du sous-sol au-dessous du terreau (*Mull*), elle paraît entièrement exempte de pierres et de gravier, tandis que dans le sous-sol la bêche frappe contre des cailloux. Les analyses mécaniques que Tuxen a faites ont prouvé que ce n'est là qu'une illusion, car la couche superficielle et le terreau ne contiennent guère moins de cailloux que le sous-sol profond.

Ces cailloux sont cependant fréquemment si bien entourés de particules meubles qu'ils sont invisibles quand on creuse et se dérobent i facilement qu'ils n'offrent aucune résistance à la bêche. Mais à un autre point de vue il existe une différence notable entre les éléments minéraux des couches superficielles et des couches profondes du sous-sol, la quantité d'argile augmentant avec l'approfondissement (tableau I), de telle façon que, dans les points que nous avons examinés, le taux d'argile était moitié plus élevé à cinq pieds ($1^{m},569$) de profondeur qu'à la surface. On peut considérer comme un caractère constant de la superficie du sous-sol sa pauvreté en argile par rapport à la couche profonde et des plongements du terrain peuvent seuls apporter une exception à cette règle. (Comparez Prof. VI.)

Analyse chimique. — Le terreau et la couche sous-jacente ne renferment pas d'acide humique libre, soluble. Quand on a chassé

l'acide carbonique qui rougit, dans tous les terreaux frais de hêtre, le papier de tournesol, ce terreau ne présente plus aucune réaction acide. Le terreau semble être assez riche en matériaux humiques, mais il n'en contient cependant pas plus de 5 à 10 p. 100 [1]. La quantité d'humus est bien moindre dans la couche superficielle du sous-sol et décroît progressivement de haut en bas. (Prof. I, II et III, tableau I.) Les matériaux inorganiques solubles suivent une tout autre progression. Le terreau en renferme une quantité très appréciable, ce qui se comprend facilement, car cette couche consiste en partie en restes incomplètement décomposés de corps organisés dont les éléments des cendres doivent augmenter la teneur du terreau en composés solubles. Immédiatement sous la couche sombre de terreau, le sol est au contraire plus pauvre en combinaisons minérales solubles qu'aucune autre partie de la coupe dont la teneur en ces principes va en général en augmentant avec la profondeur. Dans les emplacements étudiés, l'augmentation du taux du fer et de la chaux est extraordinairement régulière ; l'acide phosphorique et la potasse présentent, au contraire, de grandes variations [2].

Végétation du hêtre sur le terreau.

Le hêtre en station sur le terreau. — L'accroissement du bois est intense, le développement en hauteur considérable. La végétation foliacée est luxuriante ; l'écorce lisse et claire. Un grand nombre de mesures de l'accroissement seraient nécessaires pour permettre d'exprimer en nombres quelque peu rigoureux l'influence du terreau sur l'accroissement du bois, et ces mesures n'ont pas été faites. Mais rien qu'à l'aspect, tout forestier un peu expérimenté le constatera, s'il a dirigé son attention sur l'influence de l'humus partout où, sur ces formations humiques, la croissance de la forêt est bonne.

Le développement des racines du hêtre est tout différent de ce

1. Voir plus loin les analyses de Tuxen.

2. Deux séries d'analyses ne suffisent pas pour tirer à ce sujet des conclusions détaillées. Je ferai cependant remarquer que l'échantillon *b'* du profil II provient d'une partie assez compacte de la couche superficielle du sous-sol qui n'a pas été, comme celle du profil III, coupée par les galeries des grands lombrics.

qu'il est en tourbe. Les racines superficielles sont en nombre beaucoup plus grand et les racines secondaires ne pénètrent souvent qu'à la profondeur de quelques millimètres au-dessous de la surface brun grisâtre de la terre.

Cependant les racines du hêtre ne couvrent pas encore toute la superficie du sol ; elles laissent un nombre immense de places plus ou moins grandes inoccupées qui permettent aux plantes qui forment le tapis de s'étendre dans la couche d'humus. La partie superficielle du sous-sol est également riche en ramifications de racines et en grosses racines de l'arbre. Toute la couche du sol jusqu'au sous-sol concourt à l'alimentation de la végétation, les couches tenaces de la terre ne sont point dépourvues de racines, surtout là où le grand lombric leur a ouvert des chemins où elles peuvent pénétrer.

Autres organismes. — Le terreau de hêtre et le sol qui y confine servent, comme on le comprend aisément, d'habitation à une armée de petits organismes visibles ou invisibles à l'œil nu, appartenant aussi bien au règne végétal qu'au règne animal. Pas un de ces êtres innombrables n'est sans importance pour la formation du terreau. L'étude de ce petit monde et de leurs relations sociales si variées exigerait beaucoup plus de temps et de recherches que l'auteur n'a pu leur en consacrer. Les organismes sur lesquels on appellera ici l'attention du lecteur sont ceux qui m'ont paru jouer le rôle le plus actif et qui, à mon avis, ont la signification la plus importante pour la distinction du terreau (*Mull*) d'avec la tourbe (*Torf*).

Les feuilles isolées et le terreau qui les recouvre sont divisés et détruits par une série de plantes et d'animaux qui seront à leur tour anéantis par l'action d'autres organismes.

Parmi les plantes viennent, en première ligne, les champignons. Rostrup m'a nommé 47 espèces parmi les grandes formes de champignons visibles à l'œil qu'on rencontre le plus fréquemment dans les forêts de hêtres. En dehors de ceux-là, on rencontre dans le terreau de hêtre une armée de plus petits champignons très répandus (mucorinées, myxomycètes, etc.) et une quantité innombrable d'organismes inférieurs à ceux-là et qui appartiennent au groupe des monères. Parmi les champignons inférieurs, je signalerai quelques mycéliums microscopiques, déliés, bruns ou brun noirâtre, qui

croissent sur les racines du hêtre et de là se répandent librement dans le sol. Ils ne semblent pas jouer ici un rôle plus important que beaucoup d'autres espèces végétales, mais nous reviendrons sur ces organismes remarquables quand nous parlerons de la tourbe du hêtre.

Aussi loin sous le sol qu'on rencontre des traces de la vie organique de la surface, on trouve des champignons : dans le terreau (*Mull*) notamment et dans la couche superficielle du sous-sol, il y a un tel enchevêtrement de fils mycéliens microscopiques de forme et de couleurs différentes, que le plus petit grain de terre placé sous le microscope offre toujours quelqu'un d'entre eux à l'observateur ; ils se présentent en masses plus considérables, avec l'aspect de fibres fines comme du fil de verre, facilement séparables les unes des autres. Lorsqu'on songe que tout ce tourbillon provient de restes organisés du sol forestier et vit de substances organiques empruntées au sol, on est éclairé sur le rôle considérable que jouent ces êtres dans la formation de l'humus : on comprend combien est essentielle l'influence de la flore cryptogamique sur le sens que prendra la transformation du sol en humus.

Dans ce monde végétal invisible, mais si riche, se meut une quantité d'organismes animaux non moins considérable, parmi lesquels je m'occuperai spécialement des vers de terre, parce que, sans aucun doute, ils constituent l'élément le plus important du monde animal du terreau.

Lorsqu'en automne, on considère la surface récemment couverte des feuilles tombées des arbres, on remarque çà et là dans beaucoup de points de la forêt de petites places moins bien recouvertes de feuilles que le reste du sol et dans lesquelles on aperçoit encore la terre noire à nu. Lorsqu'on a été rendu attentif à ce fait, on distingue un grand nombre de ces espaces, souvent à 4 à 6 pouces (0^m,105 à 0,157) seulement les uns des autres. Une observation plus attentive montre que ces places nues consistent en petits tas de terre mélangés d'écailles, de pédoncules, pédicelles et petits fragments de feuilles. Dans le milieu du petit amas de terre se trouve fréquemment une feuille de hêtre disposée en cornet, la pointe fixée dans la terre.

Les petits tas sont les ouvertures des galeries des lombrics et les grumeaux noirs qui forment ces tas consistent essentiellement en excréments des vers. La comparaison de la structure de ces grumeaux, soit avec les excréments frais provenant indubitablement des lombrics, soit avec le contenu même du canal digestif de ces derniers, ne saurait laisser aucun doute à ce sujet. Les excréments n'ont jamais été déposés totalement ni même partiellement dans les points où l'on rencontre ces petits tas. Suivant toute vraisemblance, ils sont rassemblés, lorsqu'ils sont secs, par le lombric en un tas qui recouvre l'orifice du passage de l'animal : en effet, en dehors des forêts, j'ai rencontré ces petits tas d'excréments accumulés exclusivement dans les points où le sol n'offrait pas au ver d'autres matériaux pour boucher l'entrée de la galerie.

C'est le grand ver de terre[1] (*Lumbricus terrestris L.*) qui habite, dans nos forêts de hêtres, ces galeries recouvertes si habilement.

Lorsqu'on regarde la terre qui les avoisine, on aperçoit partout les mêmes éléments qui constituent ces petits tas, seulement plus éparpillés ou plus aplatis par la pluie, parce que, d'après une observation longuement poursuivie, il semble que toute la couche superficielle de la terre jusqu'à une profondeur d'un demi-pouce ou d'un pouce ($0^m,013$ à $0^m,026$), soit formée par des excréments de ver de terre et que la couche de terreau brun sous-jacente soit aussi constituée par le même élément, dans un état de dissolution et de décomposition plus avancé.

Si l'on examine au microscope les petits grumeaux, on s'aperçoit que, le plus souvent, en réalité, ils consistent fréquemment en un détritus indéterminable de nature organique, à côté de particules de terre inorganique. Mais, si souvent ils sont formés principalement de plus gros restes de plantes de structure bien définie, ceux-ci existent quelquefois en si grande masse que les grumeaux noirs peuvent être comparés à des excréments de chevaux en miniature, seulement avec cette différence que les restes organiques dans le

1. Tous les vers que j'ai récoltés et déterminés appartenaient à cette espèce, mais vraisemblablement la forme voisine, plus petite, *Lumbricus rubellus Hoff.*, dont le genre de vie est le même, doit se rencontrer aussi dans nos forêts.

fumier de cheval ont presque tous à peu près la même grandeur parce qu'ils sont détruits par la mastication, tandis qu'au contraire les grumeaux produits par les vers de terre renferment des résidus de dimensions très différentes, l'animal qui les produit ne pouvant pas diviser les débris végétaux. Ces derniers sont à moitié entraînés en bas dans les galeries, si bien que les tas semblent regorger d'une botte de pédicelles, etc., et s'ils sont à moitié putréfiés ou mouillés, ils sont dévorés par les vers. J'ai trouvé dans les grumeaux des feuilles entières de mousses, des morceaux de feuilles de hêtres, de plus grandes radicules et une masse d'autres restes de plantes parmi lesquels je veux mentionner le *mycélium* dont on a déjà parlé et qui, sans subir une modification apparente, traverse le canal intestinal du ver de terre; mais, en outre, une quantité, qui n'est pas insignifiante, de morceaux de chitine, de dards et de poils d'insectes, ainsi que des parties d'ailes de papillons et des soies du ver de terre lui-même.

Outre ces restes organiques, les grumeaux renferment encore quelques éléments inorganiques qui se trouvent dans le canal intestinal de l'animal, comme, par exemple, de gros et de petits grains de sable, argile, etc. Dans une analyse faite par Tuxen de ces excréments recueillis avec soin sur un sol de Gelskov et séchés à l'air, on obtint la composition suivante :

	p. 100.
Eau	7.5
Perte par calcination au rouge	30.4
Cendres	51.8
Matières solubles dans l'acide chlorhydrique	10.3
	100.0

Dans les cendres on trouva :

	p. 100.
Sable au-dessus de 1/3 de millim.	12
Matières diverses au-dessous de 1/3 de millim.	88

Comme la teneur de la couche de terreau est la même dans ces conditions, tandis que la quantité de sable grossier est, par rapport à la somme de sable fin et d'argile, dans la proportion de 11 à 89, il semble que le grand ver de terre, en dehors de l'aliment végétal,

assimile un peu de terre, probablement pour aider à la digestion des restes de plantes durs que le corps mou de l'animal ne serait pas en état de diviser, mais qui peuvent en partie être digérés, grâce aux mouvements de l'intestin et, en tous cas, séparés avec l'aide du sable.

Si l'on suit la galerie à une profondeur plus grande, on trouvera souvent la partie supérieure recouverte d'une couche mince d'un sous-sol jaune, dont la couleur contraste beaucoup avec le terreau sombre que la galerie traverse. Les galeries descendent à peu près perpendiculairement dans le sol; elles s'infléchissent parfois en forme de baïonnette, mais poursuivent d'ailleurs leur chemin tout à fait droit; seulement il est impossible de suivre leur descente à travers le sol, mais seulement à travers la couche superficielle claire du sous-sol.

J'ai déterré ces galeries depuis une distance de la surface de 1 centimètre à 1 centimètre et demi jusqu'à une profondeur de 3 à 4 pieds (0^m,94 à 1^m,25), mais d'autres auteurs ont fait des observations jusqu'à une profondeur de 6 pieds[1] (1^m,88) et même de 10[2] (3^m,138). Dans le sous-sol clair, les parois de la galerie sont souvent doublées d'une couche mince de terre noire qui les recouvre, consistant principalement en excréments de ver, qui assurément ont été déposés de préférence sur la surface.

En creusant soigneusement la terre, on peut trouver des galeries de vers en quantité extraordinaire. Ainsi, à *Gelskov*, à 2 pieds (0^m,627) au-dessous de la superficie du sol, sur une surface de 5 pieds carrés, j'ai compté jusqu'à 43 galeries de ver, qui descendaient loin dans le sous-sol, et apparemment provenaient de gros vers de terre. Ce nombre donne pour un hectare 2/3 de million à 1 million de semblables tuyaux de drainage verticaux, de diamètre très considérable. Quand la surface du sous-sol eut été nettoyée avec soin en vue du dénombrement, je remarquai que de plusieurs galeries s'élevaient de petites radicelles; en les saisissant, je pus retirer des racines de hêtres

1. Hensen, *l'Activité du ver de terre, etc.* (Siebold et v. Kölliker, *Zeitschr. f. wissensch. Zoologie,* t. XXVIII, 1877, p. 355.)

2. Hofmeister, *Contributions à la connaissance des annélides des champs* (Wiegmann, *Arch. f. Naturgesch,* année IX, 1843, p. 187).

solidement ramifiées, fines, atteignant jusqu'à un pied de long ($0^m,314$). Ces racines devaient avoir pris place toutes seules dans les trous et s'être alors ramifiées profondément, après que le ver avait déménagé ou était devenu la proie des musaraignes ou des taupes, pendant ses pérégrinations nocturnes.

Ces vers ne sont pas exclusivement habitants de la terre, leur peau ferme et le puissant pigment brun, noir-brun ou bleu-noir qui irrise la peau de leur dos et sur les côtés est la preuve qu'ils vont à la surface de la terre : des observations d'autres auteurs ont démontré que le grand ver de terre rampe pendant la nuit de tous côtés sur la superficie du sol. La nature de ses excréments prouve qu'il ne dévore pas seulement de la terre, mais qu'il mange aussi tous les restes végétaux morts, qui gisent sur le sol des forêts ; par suite, il doit donc contribuer à un haut degré par la décomposition du sol à la formation du terreau, en mélangeant celui-ci avec la terre et en ramenant à la superficie les couches plus profondes. La grande quantité de galeries qu'il trace contribue aussi à l'approfondissement du sol. Il opère dans une certaine proportion un bon labourage du sous-sol, qui doit favoriser d'une façon extraordinaire la croissance des arbres, surtout dans les hauteurs.

Cependant le *Lumbricus terrestris* ne se trouve pas, à beaucoup près, partout dans le bon terreau de hêtre. Il y a de grandes étendues boisées, qui reposent sur un pareil sol, et où la couverture de feuilles s'étend sur le sol sans interruption, tard à l'automne, et sur lesquelles on ne rencontre pas les tas du grand ver de terre. Mais là encore je n'ai pas en vain entrepris des recherches sur les vers de terre, car il existe ici une forme analogue à la forme mentionnée, quoique bien plus petite (*Lumbricus purpureus Eisen*), que l'on pourrait appeler ver de terre de hêtres (*Buchenregenwurm*), parce que ce dernier, d'après le forestier suédois Eisen, qui a fait une étude spéciale du ver de terre, a son habitation dans les forêts de hêtres[1]. Son mode d'existence est pourtant différent de celui du *Lumbricus terrestris* ; il se tient sous la couverture, mais il ne s'en-

1. G. Eisen, *Bidrag til Skandinaviens Oligochätfauna* (*Öfvers. af Kgl. Vetensk. Akad. Förhandl,* 1870, p. 957).

fonce pas en terre, car je l'ai vu ramper dans les jours d'automne sombres et humides, en nombre assez considérable, entre les feuilles tombées et au-dessus d'elles. Il se nourrit de la même façon que le grand ver de terre, ce qui ressort des recherches faites sur le contenu de ses intestins et de ses excréments déposés entre les feuilles.

L'analyse de Tuxen montre que la composition de ces derniers (du grand *Hareskov*), desséchés à l'air, est la suivante :

	p. 100.
Eau	4.7
Perte par calcination au rouge	23.9
Cendres	64 0
Matières solubles dans l'acide chlorhydrique	7.4
	100.0

On trouva dans les cendres :

	p. 100.
Sable au-dessus de 1/3 de millim.	9
Matières diverses au-dessous de 1/3 de millim.	91

Dans la terre prélevée sous la même place, le sable grossier se trouva, vis-à-vis du sable fin et de l'argile, dans la proportion de 13 à 87, si bien qu'il ressort de là, avec la plus grande vraisemblance, que ce ver absorbe aussi un peu de terre, bien qu'il ne prenne que peu de gravier en raison de sa taille plus petite que celle du grand ver de terre, et qui atteint quelquefois une longueur d'un pied ($0^{m},3138$).

Le ver de terre des forêts de hêtres se rencontre souvent en très grande quantité à la surface et, dans les journées humides d'automne, j'ai pu en récolter plusieurs fois par douzaines sur une surface d'un pied carré.

Mais, outre ce dernier, il existe encore dans le terreau de hêtre beaucoup de sortes de vers de terre. Dans la partie superficielle du sous-sol résident une quantité de vers de terre plus petits, pâles, couleur de viande, couleur gris-rouge, que les zoologistes considéraient autrefois comme un genre particulier (*Lumbricus communis Hoffm.*), mais qui, maintenant, sont divisés en plusieurs espèces. Parmi ces derniers, ceux que j'ai rencontrés souvent en grande quantité sont les *Allophobora turgida Eisen*. Leur couleur et leur peau sont des

indices certains qu'ils ne viennent qu'exceptionnellement à la superficie de la terre ; ils vivent dans le sous-sol, établissent difficilement leurs galeries et percent, en la rongeant, la terre, où le *mycélium* délié est peut-être leur aliment de prédilection. Avant tout, on pourrait bien se demander si ce n'est pas plutôt la végétation de champignons qui tapisse la couverture des sols forestiers, qui fournit la nourriture au ver de terre que les restes de plantes mortes, qui ne peuvent être assimilés par le système digestif des vers que dans une faible proportion.

De plus, il existe encore une armée de vers de terre de très petite espèce, dont la longueur atteint seulement quelques millimètres à un centimètre ; ils ont tous été classés par O. F. Müller sous le nom de *Lumbricus vermicularis,* mais forment maintenant un genre spécial d'*Enchytreus* qui comprend une série considérable d'espèces. Ils vivent de préférence dans la couche superficielle de terreau sombre, profonde de quelques pouces, et, pour ainsi dire, chaque fois que l'on place quelques grumeaux de terre dans une assiette avec de l'eau, un de ces petits vers alertes, transparents comme le verre, sort des grumeaux et cherche à s'échapper du liquide avec de vives contorsions. On peut voir à travers la peau que le contenu de leur intestin est tout à fait le même que celui des grands vers de terre, qu'il renferme de nombreux grains de sable, ce qui prouve qu'ils absorbent aussi de la terre.

Cette masse de vers de terre, dont plusieurs millions vivent dans un hectare de terreau de hêtre type doivent produire un travail de la plus haute importance pour l'état du sol.

A cela s'ajoute encore l'activité de leur ennemie, la taupe, qui vit exclusivement de vers de terre [1] et le terreau ne se reconnaît souvent que par les tas d'excréments de taupes qu'il porte.

Outre ces vers de terre, il y a, bien entendu, ici une grande quantité d'insectes plantivores et de leurs larves, à côté d'animaux qui les recherchent : de plus des scolopendres, des hysopes indigènes et d'autres : mais comme le ver de terre, seul, se rencontre sur le

---

1. Tauber, *Om Tandsät og Levemaade hos de danske Flagermus og Insektäerde* (*Schiödte, Naturhist. Tidskr.* III R, VIII Bd, p. 262).

terreau, tandis que la tourbe sert d'habitation aussi bien à des représentants d'insectes qu'à d'autres crustacés du pays et d'autres groupes, de tous les organismes animaux, les vers peuvent être considérés comme caractéristiques du terreau proprement dit.

Le terreau de hêtre doit donc être envisagé d'après cela comme un dépôt des débris des forêts de hêtre, riche en organismes animaux et principalement en vers de terre, transformé en une couche meuble et incohérente, dans laquelle les restes organisés sont mêlés intimement avec les substances minérales. Sous le terreau, le sol est parfaitement poreux et uni.

Tourbe de hêtre.

Plantes caractéristiques. — La forme de l'humus que nous désignons sous le nom de tourbe de hêtre (*Buchentorf*) se distingue d'une façon évidente dans sa forme typique par sa végétation. Les plantes qui sont particulièrement caractéristiques de la tourbe de hêtre sont l'*Aira flexuosa* et le *Trientalis europæa*. Dans les forêts de hêtres consistant en massifs élevés tant soit peu en futaie pleine, où le sol est recouvert de cette tourbe, ces plantes sont à peu près aussi nombreuses et l'aire se présente seulement dans les fascicules disséminés; mais là où la forêt est plus claire, elle se développe fortement aux dépens du *Trientalis*. Au milieu de ces plantes se trouve, dans la forêt qui n'est pas encore complètement éclaircie, une riche végétation de mousses qui, dans le domaine de *Telgstrupp,* est représentée principalement par les espèces suivantes : *Hypnum triquetrum L., Polytrichum formosum Hdw., Dicranum scoparium Hdw.* et *Leucobryum vulgare Hmp ;* ces formes sont très répandues, tandis que l'*Hypnum cupressiforme L.* et le *Ceratodon purpureus Brid.* apparaissent sporadiquement. Ces plantes constituent quelquefois la seule végétation active, mais souvent ici il se développe en même temps une végétation d'airelles myrtilles et, en outre, bien qu'elles ne soient pas exclusivement liées à la tourbe, quoique pourtant elles viennent en général et de préférence sur ce sol, on trouve la fleur de mai (*Majanthemum bifolium*) et le blé des cailles (*Melampyrum pratense*) ; dans les forêts de *Silkeborg,* j'ai trouvé aussi, par extraordinaire, la tormentille

(*Potentilla Tormentilla*) généralement répandue. Cette flore, qu'on pourrait appeler *Trientalis Vegetation* (végétation trientalique), est si caractéristique de la tourbe de hêtre qu'elle est particulièrement propre à servir d'indice certain de l'existence de cette formation, quoiqu'elle éprouve des changements dans sa composition, de même que la végétation du muguet.

Aspect du sol. — Dans une forêt de hêtres consistant en massif tant soit peu élevé en futaie pleine, sur une couche de tourbe, le sol n'est recouvert que parcimonieusement de la végétation dont nous venons de parler. Il semble porter une culture misérable ; de petites branches et des ramules et aussi, çà et là, quelques restes de plantes forment la surface entre la mousse et les plantes phanérogames peu abondantes et insignifiantes. Mais il est encore plus surprenant que, sur le sol de tourbe, la couverture de feuilles meuble, qui s'étend partout sur le terreau, fasse défaut. Le sol est ferme et ne cède pas plus sous le pied qu'une épaisse couverture de feutre sur un sous-sol dur. La superficie est si compacte que l'eau de pluie forme parfois des flaques sur le sol sablonneux meuble, quand la tourbe a étendu sa couverture sur le sol ; mais cette couverture est entièrement humectée seulement après un temps humide continu et alors elle est comme une éponge imbibée d'eau, tandis que la couche de terre immédiatement sous-jacente est restée sèche.

Si l'on creuse le sol à la bêche, on rencontre d'abord une couche d'humus noir-brun, tenace : la tourbe ; puis en dessous, un sable en général meuble plus ou moins nettement limité par la couche de tourbe, qui n'a pas du tout la couleur jaune d'ocre, si habituelle à la croûte terrestre de formation d'alluvion. Sa coloration varie entre le gris-blanc et le gris ou noir-gris et est en général d'autant plus claire qu'on s'éloigne plus de la couche tourbeuse. Sous cette couche, on trouve une couche de terre colorée en rouge-brun ou brun et enfin sous celle-ci de l'argile sablonneuse, du sable ou une forme intermédiaire entre ces deux matières.

Ces couches, représentées dans les figures 1 (Profil IV) et 2[1]

1. Sur les tableaux I et II se trouve l'explication des caractères d'indication du profil, qui partout ont la même signification. On doit seulement faire remarquer que

ont cependant une puissance très différente et présentent encore des divergences importantes. La couche de sable gris, que nous appellerons sable plombifère, peut être réduite sous une couche mince de tourbe à une bande très fine d'une puissance d'à peine 1 pouce (0^m,026), sans limites nettes, et elle peut aussi croître jusqu'à une couche de sable presque blanc d'une épaisseur de 4 pouces (0^m,105) nettement délimitée, comme cela se trouve très souvent dans les forêts des pays de la mer du Nord ; un petit nombre seulement ont rarement une épaisseur de 6 pouces (0^m,157), mais ces dépôts atteignent pourtant dans les forêts sur le sable amoncelé du Jütland une puissance de 2 pieds (0^m,628).

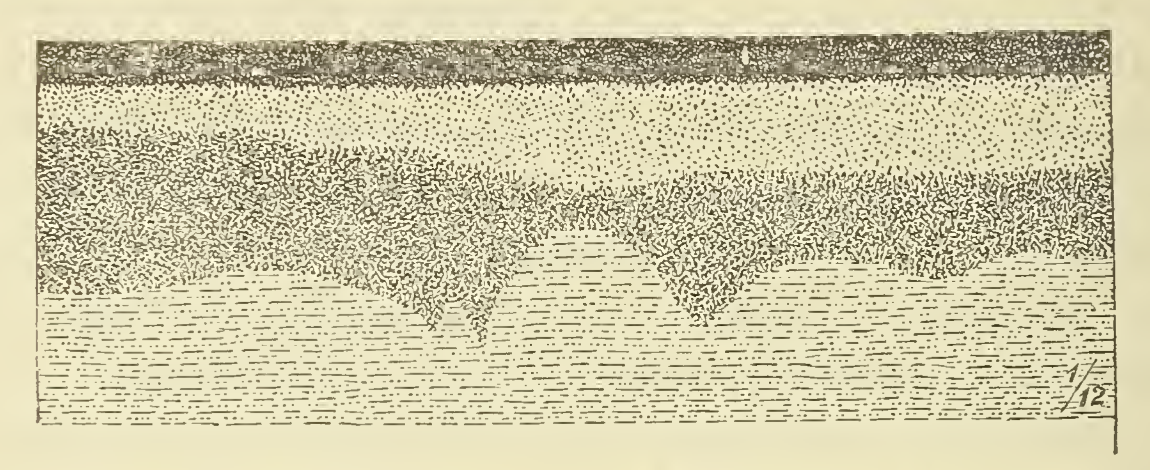


Fig. 1. — Profil IV. Store-Hareskov. (Forêt d'État dans Seeland.)

Sur le terrain plat, il existe, entre l'épaisseur de la couche de tourbe et de sable plombifère, un accord certain, tel que les plus puissantes couches de tourbe gisent sur les plus épaisses couches de sable. Le sable est en général très meuble ; cependant, il est quelquefois, aux limites de la couche sous-jacente, dur et, à quelques places, comme siliceux (fig. 2).

La couche brunâtre qui se trouve sous le sable plombifère, que dans la suite nous appellerons *Ortstein* [1], est tout aussi variable comme puissance et consistance. Sous la fine bande de sable plombifère, qui a à peine l'épaisseur d'un pouce (0^m,026), la terre rouge

---

la hachure de la figure 2 avec de petits traits clairs horizontaux, indique une couche dure sablonneuse, qui n'a pas été trouvée aux places que les autres indications du profil doivent représenter.

1. Voir plus loin la définition exacte de ce mot. H. G.

n'a pas non plus ordinairement une grande épaisseur; mais sous les couches plus puissantes de sable blanc, cette formation peut aussi atteindre une épaisseur de 4 à 6 pouces (0^m,105 à 0^m,157), et même jusqu'à un pied et demi (0^m,471). J'ai vu varier la puissance totale de ces trois couches entre 4 pouces (0^m,105) à peine et 2 pieds 1/2 (0^m,785). Les couches minces de terre rouge sont toujours poreuses et terreuses, et même les dépôts plus puissants de 4 à 6 pouces ont souvent une consistance aussi faible. Mais, en général, les couches de terre rouge plus épaisses sont tenaces et se développent ensuite comme formation sablonneuse ou bien sous forme de véritable *Ortstein,* bien connu des landes, comme notamment dans les forêts de Silkeborg, dans le Jütland.

Ces deux coupes occupent soit toute la place du sous-sol (Profil VIII, fig. 2), ou bien dans les formations récentes et plus faibles, seulement la plus petite partie supérieure (Profil IV, X, fig. 1, 9). Suivant que la première ou la dernière formation s'est produite, nous trouverons dans ces couches le sol meuble, bien mélangé, complètement transformé dans ces couches, ou bien il occupe encore un espace plus grand entre la terre rouge et le sous-sol (fig. 9). Le sol sous la terre rouge est pourtant souvent très dur et tenace, dans une des couches examinées d'une puissance de 10 à 12 pouces (0^m,261 à 0^m,314), sans que l'on puisse dire avec certitude que nous ayons ici le sous-sol d'origine.

Ce sous-sol est donc très fréquemment tenace, dans les cas où la couche de sable plombifère et de terre rouge est plus puissante, comme le sous-sol du terreau. Au reste, il est très différent et il peut se présenter sous toutes les formes intermédiaires entre le sable maigre, pauvre en argile, que nous trouvons dans la forme d'alluvion et dans l'argile plastique et micacée, caractéristique des formations carbonifères. Le sous-sol est-il sablonneux ou quartzeux, les deux couches superposées présentent de faibles variations, excepté au point de vue de la puissance; si, au contraire, il est argileux, j'ai trouvé les couches dont j'ai parlé sous trois formes différentes.

Pour la première forme, le profil VI (tableau II) à *Store-Hareskov* (*Seeland*) peut servir de modèle. Dans une cavité, existant entre

les plus hautes parties [1], on trouve sous une couche de tourbe qui n'est pas remarquablement tenace, d'une épaisseur de 2 pouces 1/2 (0^m,065), une couche d'argile très claire, homogène, d'une puissance de 5 pouces (0^m,131) et dessous une couche d'argile rouge brun, d'une coloration aussi uniforme et de même étendue, qui repose sur un sous-sol d'argile sableuse ordinaire, inégalement colorée en ocre jaune.

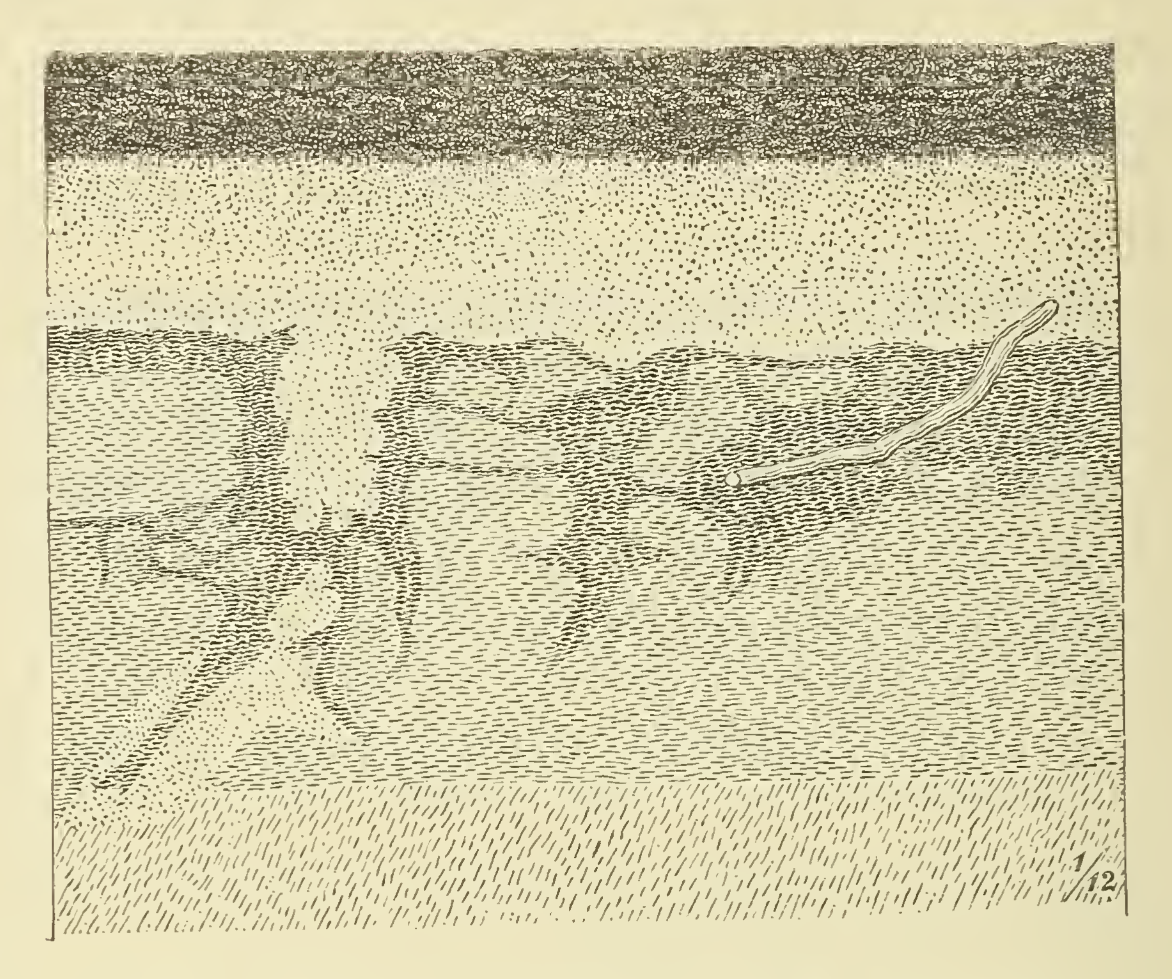


Fig. 2. — Profil VIII. Strandskoven. (Forêt d'État dans Seeland.)

La seconde forme représentée par le profil VIII dans la figure 2 est tirée du *massif de Teglstrupp* (*Seeland*). Il montre une fosse d'argile, ouverte seulement quelques mois auparavant sur un terrain élevé, qui, des trois côtés, à une distance de 690 à 1 380 mètres, était entourée de parties en contre-bas de 6 à 8 pieds (1^m,88 à 2^m,51). Sous une couche de tourbe remarquablement tenace et ayant une puissance de 4 pouces (0^m,1046), on trouva une couche de sable

1. Le nivellement a montré que le terrain voisin, à une distance d'environ 552 mètres, s'élevait des deux côtés relativement à 5 ou 7 pouces (0^m,131 à 0^m,183).

plombifère blanc-gris, épaisse de 6 à 7 pouces ($0^{m},157$ à $0^{m},183$) et dessous une couche sablonneuse puissante de 16 pouces ($0^{m},4284$) de couleur gris-brun clair avec des filons brun foncé et des figures. Du haut en bas courait un filon du sable plombifère de la couche superficielle : le sous-sol consistait, comme dans la localité précédemment décrite, en argile sableuse ordinaire avec du gravier, du sable et des pierres glaciaires.



Fig. 3. Profil IX. Laven-Skov. (Silkeborg, Jütland).

La troisième forme doit être observée dans la figure 3, qui représente la coupe (Profil IX) des couches de terre sur un plateau élevé, faiblement boisé, à *Laven-Skov,* près *Silkeborg* (*Jütland*). Sous la couche de tourbe très tenace dont l'épaisseur dépasse 4 pouces ($0^{m},1046$), se trouve une couche de sable fin blanchâtre et micacé, d'une épaisseur de 3 à 4 pouces ($0^{m},0784$ à $0^{m},1046$), dont la partie tout à fait inférieure est plus fortement colorée et qui est liée à un stratum très tenace de faible puissance. Immédiatement au-dessous se trouve une argile presque plastique, micacée, sans pierres glaciaires, qui doit être comptée sans doute comme formation carbonifère. Quoique la couche supérieure de sable plombifère recouvre l'argile comme une masse épaisse, sans fissures ni ouvertures, la partie supérieure de cette argile est pleine de fissures qui séparent en plusieurs places les parties de la terre en gros et petits grumeaux. Ces fentes sont remplies d'une masse poussiéreuse noir brun, et les grumeaux en sont aussi recouverts, si complètement que le sol apparaît comme une seule couche pure, irisée par des filons bruns. Quand on enlève par grattage la poudre brune qui recouvre l'argile, la surface de cette dernière apparaît grisâtre, analogue à du sable plombifère, et pauvre en argile; mais, à une plus grande distance de la superficie (de quelques lignes jusqu'à un pouce), la masse est plastique et couleur d'ocre.

Analyse microscopique et mécanique. — Déjà à l'œil nu et avec l'aide de la loupe, lorsqu'on sépare la couverture de tourbe tenace et feutrée, on constate que les déchets des forêts de hêtre, les fleurs, les feuilles, les écailles de pédoncules, les enveloppes de fruits, représentent la masse principale de cette couche, à côté d'un tissu indéfiniment ramifié, formé de racines pour la plupart fines.

Les racines ont partout la même structure, et leurs caractères anatomiques montrent qu'elles appartiennent à des dycotilédonées. Il y a cependant, surtout dans la tourbe épaisse, une structure particulière de racines qui se bifurquent suivant des couches horizontales; celles-ci sont en grande partie formées par des feuilles de hêtres, les plateaux sont réunis aux plateaux, en une série ininterrompue de faisceaux. Quand on pratique une fente profonde dans un pareil faisceau, on constate qu'il renferme une racine fortement ramifiée, qui s'élargit entre les couches de feuilles, comme si elle avait été pressée à plat. La figure 4 donne une image agrandie d'un semblable faisceau de feuilles dont un côté est au second plan.

Dans la partie supérieure de la tourbe, les restes de la couverture de la forêt de hêtres sont en quelque sorte intacts ; on y trouve une grande quantité de feuilles bien conservées entre des particules d'autres feuilles. A la vérité, plus on enfonce profondément dans la couche, plus irrégulière est la composition de la couche et, plus les restes des feuilles sont divisés, plus grand est le nombre de directions suivant lesquelles les racines se ramifient. Dans la partie la plus basse de la tourbe, la couverture est plus fortement divisée, se détruit en débris de toutes les grosseurs possibles, et est mélangée avec une poudre fine noir brun. Des couches de tourbe très minces ou de puissance plus faible présentent une plus faible dégradation du haut en bas, mais en général les mêmes caractères.



Fig. 4. — Racines de hêtres s'étendant dans la tourbe entre les fragments de feuilles ; les feuilles *sus-jacentes* sont à l'arrière-plan.

Si l'on cherche à séparer les fines ramifications de racines des feuilles mortes sur lesquelles elles s'étendent, on se trouve en présence d'une certaine difficulté provenant de ce qu'elles ne sont pas visibles à l'œil nu, mais l'analyse microscopique montre l'élément combiné. La masse entière, les ramifications aussi bien que les feuilles et les autres éléments de la couverture, est pour ainsi dire

guipée de filure et formée par un épais tissu de fils fins noir brun, qui semblent être très tenaces et durs comme de la corne.

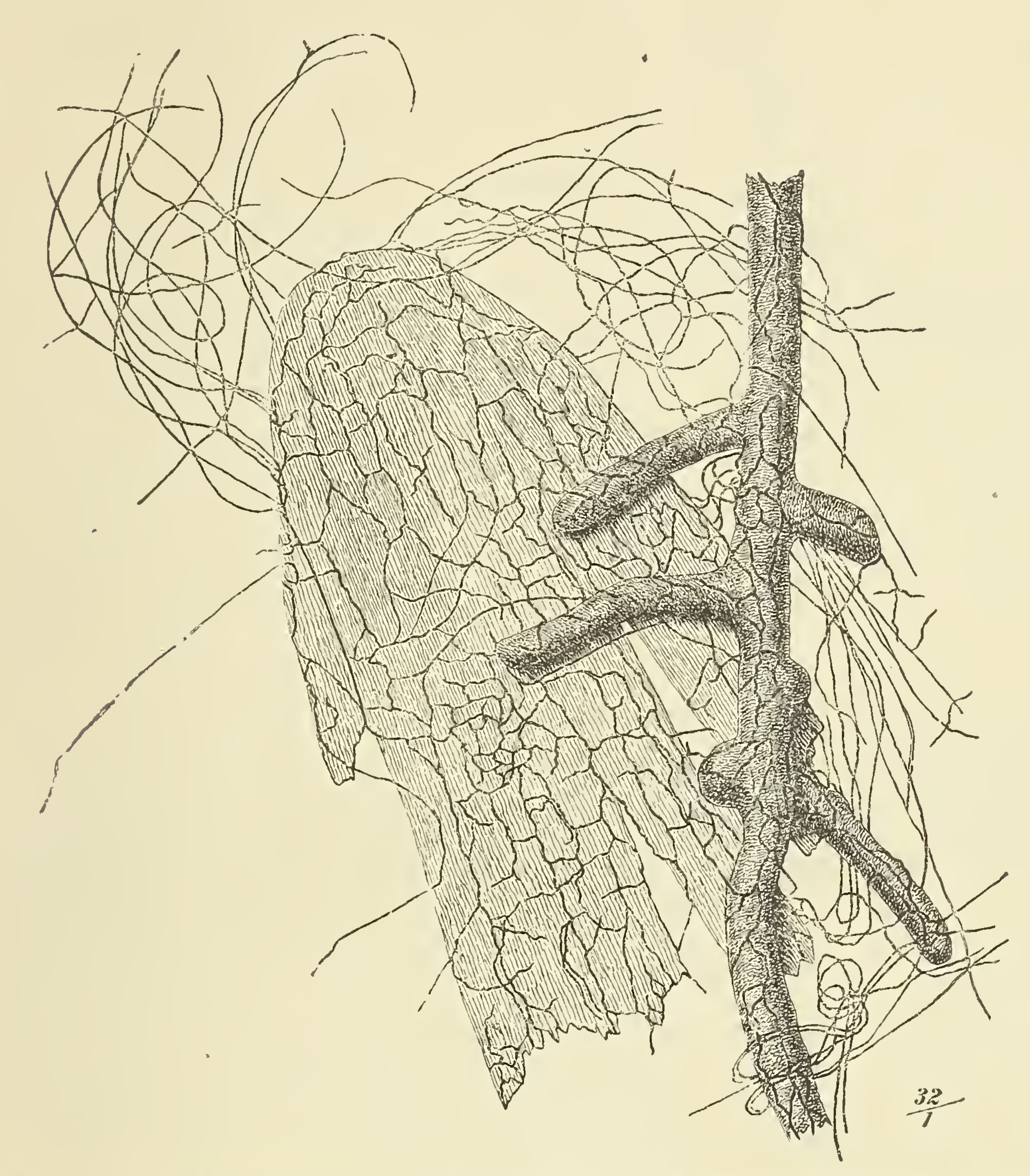


Fig. 5. — Une racine de hêtre dans la tourbe, avec la pointe d'une écaille de bourgeon tissée par le mycélium noir-brun.

Ce tissu est formé par un mycélium qui se développe dans une proportion indéfinie, forme un tissu de fil épais et dur dont est composée la tourbe à travers toute la couche qu'il enveloppe (fig. 5). Ce mycélium se décompose en un petit nombre de formes dont la figure 6 donne une représentation multiple, tandis qu'une autre ou peut-être deux autres seulement sont représentés dans la figure 7. Ce mycélium étudié, sur ma demande par le mycologiste M. le professeur Rostrup, n'a pas encore pu être classé systématiquement avec certitude.

La forme la plus ordinaire (fig. 6) appartient au genre des cladospores et il pense qu'il peut être identique avec le *Cladosporium epiphyllum Fr.* ou peut-être aussi pourrait-il être considéré comme une espèce spéciale, qu'il appelle provisoirement *Cl. humifaciens*. La question ne sera résolue que lorsque le mycélium aura été trouvé en combinaison avec une autre forme d'organe de fructification propre, ce qui, jusqu'à présent, n'est pas arrivé.

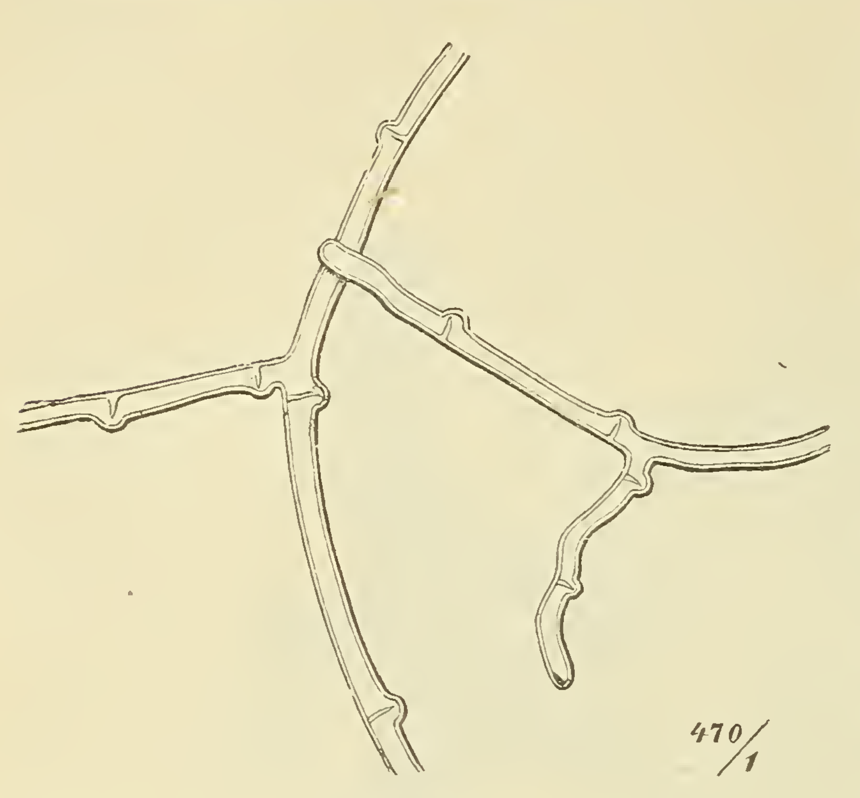


Fig. 6.
Fils de mycélium de *Cladosporium humifaciens Rostr.*

Les formes de *Cladosporium* se trouvent, d'après Rostrup, partout sur les feuilles corrompues et en fermentation, mais elles peuvent encore se tenir sur les arbres et sur les branches ou bien être tombées. La place des autres formes (fig. 7) est encore plus sombre ; mais il propose de considérer provisoirement le mycélium à surface cornée comme *Sorocybe resinæ Fr.* (*Summa. veget. Scand.*, p. 468.)

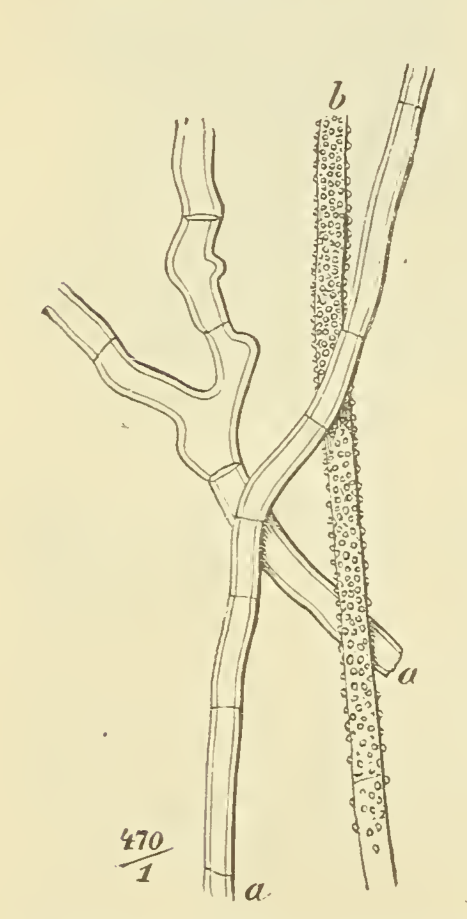


Fig. 7. — Fils de mycélium bruns sans cellules bouclées (tourbe de hêtre).

Pour déterminer exactement le pouvoir qu'ont ces formes de mycélium de servir de lien à la couverture des forêts et de réunir étroitement les racines existant dans la couche de tourbe à cette couverture, on doit observer leur force de résistance étonnante aux influences décomposantes; ce tissu microscopique semble être tout à fait indestructible. Aussi trouve-t-on dans la partie inférieure de la tourbe des débris et des morceaux de tissus morts, et dans l'estomac

et les excréments des vers de terre et des larves d'insecte de petites parties de ces fils noir brun, qui, en apparence, n'ont pas été altérés par les fluides du canal digestif. Dans une observation mentionnée plus bas j'ai trouvé d'innombrables restes de ce tissu dans un état d'extrême décomposition, qui vraisemblablement étaient morts depuis une série d'années. Ils communiquent aussi à la tourbe, à un certain degré, cette grande force de résistance contre l'influence décomposante. Ainsi ai-je trouvé en très bon état de conservation dans le *Silkerborger Nordskov*, lors d'une recherche faite sur la terre d'un district de hêtres âgé d'au moins vingt ans, sous une épaisse couche de couverture formée d'aiguilles et de rameaux, le vieux terreau de hêtres sur lequel il avait été planté à l'origine, avec des débris de feuilles qui, dans la tourbe fraîche, formaient un tissu comme dans celle de la forêt de hêtres.

En ce qui concerne la grande part que prend aussi ce réseau de racines d'un développement extraordinaire, à donner de la consistance à la tourbe, on ne peut mettre aucunement en doute que cette ténacité doit être attribuée surtout au mycélium brun.

Aux éléments de la tourbe déjà énumérés viennent s'ajouter encore une grande quantité d'éléments secondaires, tels que les restes d'autres plantes, quelques parties de chitine d'insectes, çà et là quelques excréments d'insectes, aussi bien que le thallus mousseux (*Moosthallus*) qui joue un rôle analogue à celui du mycélium brun, mais dont la stabilité et la force de résistance semblent défaillir contre des influences décomposantes.

Les analyses mécaniques montrent que la teneur en pierres des trois couches qui gisent sous la tourbe, aussi bien que sous le terreau, augmente avec la profondeur, tandis que leur teneur en argile croît d'abord avec la profondeur et diminue ensuite. Sous ce rapport, il est particulièrement intéressant que, pour tous les profils qui représentent des places élevées, la teneur en argile s'accroît d'une façon très considérable avec la profondeur, alors que le seul profil, parmi ceux qu'on a examinés (Profil VI, tableau II), a, à partir d'un point très profond immédiatement au-dessous de la tourbe, ses plus grandes teneurs en argile. Nous verrons plus tard que

cette propriété doit être attribuée au pouvoir qu'a l'eau de délayer l'argile des parties hautes et de la conduire soit au fond du sol, soit dans les parties basses du champ. Mais, pour me convaincre que le procédé n'était pas inverse et que le sable n'est pas éliminé par un mouvement de l'eau, comme le croient d'ordinaire les praticiens, quand ils voient les bandes de sable blanchâtre au voisinage de la superficie de la terre, j'ai examiné avec l'assistance du garde-forestier Bruhn, un profil d'une longueur d'environ 6,350 mètres à Store Hareskov. Là, apparaissaient des formations de sable plombifère de puissance différente le long de toute la ligne, mais on constata, par un nivellement soigneusement fait, que les pointes des tas et pas un plateau ou enfoncement ne se comportaient de la même manière, puisqu'il ne pouvait être en aucune façon nulle part question ici d'un amoncellement du sable.

La recherche entreprise plus tard sur la structure particulière du sable plombifère et de la terre rouge, démontre, dans la suite, que le premier consiste surtout en un fragment purement minéral, formé principalement de quartz, mélangé avec des particules des autres éléments du granit. Les particules humiques qui donnent une coloration noire surtout à la couche superficielle du sable plombifère immédiatement située au-dessous de l'argile, sont, en dehors des fines fibres de racines, essentiellement des particules noires d'humus. Le caractère de la terre rouge est tout différent. Là, chaque grain et chaque particule tenace sont entourés d'une substance qui paraît dépourvue de structure; ils sont incrustés d'une matière brune qui donne à la couche sa couleur et toute la masse entière, à cause de cela, ressemble d'une façon si frappante à la partie superficielle de la couche gisant sous le terreau, qu'il était impossible, à cause de cette uniformité de coloration, de découvrir à l'aide du microscope une différence perceptible entre la structure de la terre rouge et celle de cette couche. On trouve une incrustation semblable, mais, en général, moins parfaite et d'une autre composition, dans le sous-sol argileux.

Analyse chimique. — La couche tourbeuse de la forêt de hêtres renferme une grande quantité d'éléments organiques qui se monte en moyenne à 40 p. 100 et peut varier entre 30 et 50 p. 100 ; mais

elle est en outre très acide non seulement à cause de sa teneur en acide carbonique, mais en même temps à cause d'une quantité considérable d'acides humiques[1], qui, sans doute, en pénétrant toute cette masse tourbeuse, contribuent à sa stabilité. D'ailleurs, comme le montre le tableau II, elle est extraordinairement riche en éléments nutritifs des plantes, ce qu'explique seule sa teneur élevée en restes de plantes et en éléments minéraux. Même, en général, le sable plombifère très pauvre dans le terreau n'est pas tout à fait exempt d'acides, mais nous trouvons pourtant ceux-ci en beaucoup plus grande quantité dans la terre rouge, qui est de nouveau plus riche en humus, et dans laquelle, à ce qu'il paraît, l'excédent de la matière organique colorante consiste en acides humiques qui, à la vérité, sont, pour la plus grande partie, combinés à différentes bases minérales.

Le sable plombifère est relativement pauvre en pareilles combinaisons solubles dans l'acide chlorhydrique étendu. Il doit être, à cause de cela, considéré comme une couche de terre extraordinairement maigre. De là, les acides solubles descendent vers le sous-sol, tout à fait comme sous le terreau, mais beaucoup plus vite ; on doit descendre à une profondeur 4 à 6 fois plus grande dans le sol sous le terreau que sous la tourbe, pour trouver en masse double la quantité d'éléments ordinaires et d'importants éléments inorganiques considérés comme aliments des plantes. Toutes nos analyses concernent des formations de tourbe dans les forêts de hêtres de *Seeland* et on ne trouve pas d'amoncellement de fer dans la terre rouge (tableau II), là où, au contraire, la chaux, la magnésie et l'hydrate d'alumine semblent être déposés en plus grande masse que plus bas. Dans les formations du Jütland, analogues à l'*Ortstein*, des masses très considérables d'hydrate d'oxyde de fer sont contenues apparemment dans cette couche. Les acides phosphorique et sulfurique existent aussi, comme dans la couche de terre rouge de landes, en quantité infiniment plus abondante. Ce genre de sol doit pour cela être considéré comme relativement riche en éléments nutritifs et, dans les endroits où il est meuble et sans cohérence,

1. Voir les analyses de Tuxen, au commencement

il y a aussi beaucoup plus de racines de plantes que dans le sable plombifère et le sous-sol.

Le hêtre en station sur la tourbe. — Les peuplements de hêtres sur le sol revêtu de tourbe ont une croissance lente ; les vieux arbres ont des rameaux desséchés, sont recouverts de mousse et présentent d'autres signes d'un état maladif. Pourtant, on rencontre encore souvent sur quelques formations de tourbe puissantes des peuplements, dont la forme et la haute croissance montrent clairement qu'ils ont été jadis parfaitement bien portants et même qu'ils ont dû avoir une croissance extraordinairement prospère. Ainsi que nous le verrons plus tard, on est conduit certainement à la conclusion que la formation tourbeuse est d'origine relativement jeune.

Quoiqu'on puisse reconnaître facilement que l'enchevêtrement incroyablement épais des racines qui forme un tissu dans la tourbe est de nature ligneuse, ce fut pourtant pour moi pendant longtemps une énigme de savoir sur quelles plantes devaient porter mes recherches à ce sujet et je conjecturai tout d'abord que l'airelle si fréquente avait des rapports avec elle. Dans le fait, cette plante contribue aussi un peu à cette formation, mais en général dans une proportion relativement faible. D'abord, par des sondages réitérés principalement à des places où il n'existait pas la moindre trace d'airelle et où le hêtre était la seule culture arbustive, j'arrivai à me convaincre què les racines d'une forêt de hêtres, même de croissance ancienne, forment dans la croûte terrestre un tissu filiforme d'une épaisseur si extraordinaire, que l'on peut à peine, sans une observation spéciale, s'en faire une représentation claire. Plus saisissante encore pour moi fut l'observation que dans les anciennes et puissantes couches de tourbe, ce système de racines est presque la seule partie vivante de la racine. Dans la fosse d'argile mentionnée, représentée dans le profil VIII (fig. 2), je pus m'enterrer sous un vieux hêtre qui avait crû sur la tourbe. Je fis tomber de grandes parties de la couche superficielle de sable plombifère depuis la couverture de l'excavation et je trouvai que la couche ne contenait pour ainsi dire pas de racines de hêtre, mais que ces racines étaient rassemblées seulement en une masse brune supérieure

formée de tourbe d'une épaisseur de 4 pouces (0m,1046). Une seule racine de hêtre à moitié morte et sans ramifications s'enfonçait dans le sol, à travers une couche de terre rouge sablonneuse épaisse d'un pied et demi (0m,7846) jusqu'au sous-sol argileux. C'était donc une démonstration : 1° de ce fait que la couche intermédiaire, épaisse de 1 pied 3/4 (0m,8630), ne convenait pas pour la ramification des racines de hêtre, et 2° que toute cette formation puissante avait vraisemblablement pris naissance dans le courant du deuxième siècle d'existence de la forêt; enfin la terre rouge était si dure et si épaisse qu'aucune petite racine n'aurait pu se frayer un chemin à travers. Sur des formations aussi fortes de tourbe, la forêt arrive, pour ainsi dire, à se tenir au haut du sol et tire en réalité sa nourriture de sa propre couverture. Enfin, les racines absorbantes fraîches se trouvent aussi de préférence au milieu des couches de feuilles supérieures et la plus grande partie de ce tissu incommensurable n'est plus en état d'assimiler la nourriture et doit être seulement considérée comme un reste non décomposé des organes de nutrition primitifs.

L'entière conception de ce fait ressort d'une recherche faite sur les pointes fonctionnelles des racines de hêtre.

Quand on prépare une des racines de hêtre finement ramifiée dans la partie supérieure de la tourbe entre les feuilles, on voit que plusieurs des radicules brun foncé et rugueuses terminent des accroissements blanchâtres [1] (fig. 4).

Seulement cette partie de la racine de hêtre, dont la longueur ne dépasse pas quelques millimètres, est recouverte d'un parenchyme d'écorce clair enflé, dont les cellules s'allongent en poils de racines courts, en brosse et clairs. Cette partie extérieurement indiquée de la racine est seule en état d'absorber la nourriture ; à une distance

1. Ces observations ont été entièrement confirmées par les études extrêmement intéressantes communiquées par le Dr Franck, en 1885, sur le *Mycorhiza* du hêtre. Les pointes des racines gonflées du hêtre sont, d'après lui, un ensemble formé de racines de hêtres et de *Pilzhyphen,* qu'il appelle *Mycorhiza,* et il affirme qu'il existe une symbiose entre le champignon et le hêtre. (*Cfr.* Frank in *Ber. der Deutsch. bot. Gesellschaft* (*Rapport de la Société botanique allemande*), t. III, fasc. 4, et *Generalversammlung*, P. E. Müller, dans la *Botanische Centralblatt,* t. XXVI, année VII, n° 1.

relativement faible de la pointe, les poils des racines sont morts, les cellules du parenchyme de l'écorce, riches et brunes, la couverture ridée et crevassée et recouverte partout d'une végétation des parasites inséparables, des fils de mycélium bruns, mais qui n'atteignent seulement pas le parenchyme de l'écorce morte (fig. 8). Mais on doit encore examiner plus exactement la partie restante, en apparence privée de vie, des radicules, pour comprendre comment cette masse confuse pourrait servir à l'arbre comme organe de nutrition. Les radicules brunes présentent au microscope un degré différent de transparence. Tandis que les tiges principales ne sont pas tout à fait opaques, les branches latérales brun noir apparaissent entièrement opaques. La dissection montre que cela repose sur ce fait que les vaisseaux et les cellules ligneuses de la tige principale sont claires et incolores et, vraisemblablement pour cette raison aussi, sont en état de servir à conduire les dissolutions, alors qu'au contraire les branches latérales sont en général brun noir, comme les cellules de l'écorce de la tige principale. Quoiqu'ainsi une grande partie de cette masse de racines soit réellement morte, les cellules séveuses qui conduisent la sève ont conservé leur fraîcheur et sont, pour cette raison, en état de fonctionner comme canaux conducteurs des dissolutions puisées par les fines pointes des racines.

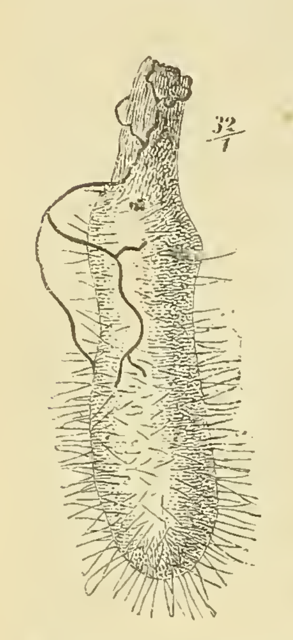


Fig. 8. — Pointe d'une racine de hêtre avec le parenchyme de l'écorce gonflé. Dans les couches mortes de l'écorce de la partie supérieure, fils bruns de Mycelium.

Nous retrouvons aussi dans le terreau la structure des racines d'aspiration (radicelles) (*Saugewurzeln*) du hêtre, seulement avec cette différence, que les parties qui ont cessé de fonctionner sont rapidement abattues et détruites, tandis qu'elles se conservent dans la tourbe. D'ailleurs, cette structure des pointes de racines du hêtre, qui n'a, que je sache, été décrite par aucun autre, est si particulière et si différente de celle des racines de la plupart des autres arbres que j'ai eu l'occasion d'étudier, que, sans aucun doute, elle doit être comptée pour une part dans le pouvoir qu'a l'arbre de développer une masse merveilleuse de racines que nous n'avons trouvée, en semblable manière, que dans les plantes éricinées (*haidekrautartige*

Pflanzen). Parmi ces essences forestières particulières, le pin semble donner une faible image du système de racines du hêtre qui vient d'être décrit.

Le mycélium noir ne croît pas seulement sur le parenchyme de l'écorce morte, mais toute l'épaisseur de ce parenchyme est tissée par ce champignon et semble tout à fait aussi inséparable des racines de hêtre que les lichens blancs bien connus des tiges de hêtre; pourtant on doit presque toujours le considérer comme un parasite importun et dangereux.

Comme nous l'avons vu, la partie de la racine qui absorbe la nourriture est très petite et les cheveux de la racine sont extraordinairement courts et fins, si bien que les racines de hêtres ne viennent en contact qu'avec une surface relativement petite du terrain. A cause de cela, il doit être d'une grande importance pour cette plante que les particules de terre soient liées d'une façon compacte aux racines, pour donner à celles-ci une facilité plus grande de se transformer autour d'elles en un petit sac de terre (*Erdsäckchen*) qui, en général, se forme par la croissance simultanée des cheveux des racines, longs et flexibles, et des particules de terre; cela paraît aussi, quoique moins parfaitement, devoir être produit par le parasite de la racine de hêtre, le mycélium de la famille des cladospores (*Cladosporien Mycelium*). Quand on déterre avec précaution un jeune plant de hêtre ou de frêne, principalement sur un sol un peu sableux et sec, on trouve les fines racines des deux entourées de terre fortement adhérente. Mais la préparation faite soigneusement montre que chez les racines de hêtre, l'adhérence tenace de la terre est due réellement au mycélium, tandis que chez les racines de frêne, qui, aussi loin que mes recherches aient été poussées, ne donnent pas asile à ce champignon, sont liées ensemble par des cheveux de racines, grands, comprimés et clairs comme le verre. Sur le sable sec et meuble, le mycélium du hêtre doit être d'une utilité particulière, son tissu épais doit certainement augmenter l'hygroscopicité du sol et, en transformant en une masse tenace tous les restes organiques dans la terre, il doit contribuer efficacement à la formation d'une couche d'humus suffisante, qui, sans lui, se formerait difficilement à de pareilles places.

Les observations communiquées plus bas, faites sur la plantation

de Hornback (*Hornbäcker Plantage*), sur le sable mouvant, démontrent ce fait. D'autre part, à peine peut-on émettre un doute sur la question de savoir si un développement aussi énorme de ce mycélium pourrait donner une autre direction à l'humification que celle qu'elle prend dans ces couches de terres où, comme dans le terreau, les tissus de mycélium clairs, fins, facilement décomposables et vraisemblablement riches en azote, sont prépondérants.

Autres organismes. — Déjà au premier coup d'œil on s'aperçoit qu'une différence importante existe entre la vie animale dans le terreau et dans la tourbe, car aucun tas de taupe ne rompt la superficie plane de cette dernière. La taupe, ainsi que sa victime, le ver de terre, n'existe exclusivement que dans les formations de tourbe proprement dites; une seule fois, j'ai trouvé un exemplaire d'une sorte de petit Enchytreus dans la tourbe, où il était probablement tombé par hasard. On trouve plus loin, relativement parlant, extrêmement peu de parties de terre et d'excréments d'insectes, si ceux-là ne font pas aussi complètement défaut; mais tout le monde d'insectes qui s'agite dans une forêt de hêtres doit pourtant aussi laisser sa trace dans la tourbe, mais on ne peut pas conclure d'après cela à une vie animale dans la tourbe. L'entomologiste professeur Schiödte à qui je communiquai cette remarque m'a confirmé ce fait que le sol de tourbe était considéré comme un champ stérile par les entomologistes. A l'exception de quelques trous creusés par des taupes, je n'ai trouvé dans la tourbe aucune trace d'animaux autres que quelques crustacés indigènes, Oniscés et Julidés (*Oniscen und Juliden*), ainsi qu'en quantité assez considérable, différentes formes de quelques représentants des vers, très petits et en partie microscopiques, qui se tiennent à la plus grande profondeur, des formes des groupes des gordiacées et anguillules.

La tourbe de hêtre doit être d'après cela regardée comme un dépôt de couverture des forêts de hêtres extraordinairement pauvre en vie animale, qui est transformée en une tourbe tenace par les racines de hêtres et un champignon mycélium très résistant. Sous cette tourbe, la superficie du sol est désagrégée en sable plombifère et terre rouge qui, suivant le développement de la formation, embrasse une plus ou moins grande partie de la puissance totale du sol.

Formations de passage.

Tourbe terreau (*mullartiger Torf*). — La couverture uniforme produite par la tourbe sur de longues superficies de sols forestiers est pourtant de côté et d'autre entrecoupée par des taches, dont la végétation fait présumer un caractère différent du sol. Ainsi, on peut voir, principalement dans les enfoncements et les cavités hémisphériques, tantôt de petits bosquets de framboisiers, tantôt des groupes de jeunes hêtres prospères, ou de petits plants de hêtres rabougris, qui çà et là prolongent leur existence sur la tourbe et se détachent nettement.

Par un examen attentif de ces oasis, je me suis affermi encore à un plus haut degré dans la conclusion que j'ai tirée de mes autres observations sur la signification qu'ont les organismes animaux pour la formation du terreau.

Dans ces petits bosquets de framboisiers ou groupes de jeunes hêtres vigoureux, j'ai rencontré surtout au début un terreau excellent, sans qu'il fût possible de trouver dans la nature du sol même aucune raison qui expliquât que la décomposition des restes organiques sur cette tache, qui n'avait qu'une étendue d'environ 690 mètres carrés, soit $0^{ha}69^{a}03^{c}$, dût s'accomplir d'une autre façon que dans les grandes surfaces de tourbe environnantes. Mais je n'ai jamais examiné une pareille oasis de terreau sans y trouver des vers de terre en quantité considérable, tandis que dans les étendues limitrophes il n'en existait aucune trace. On est donc près de conclure que les vers de terre de l'un ou de l'autre sous-sol se sont tenus longtemps dans cette tache et aussi, par l'ombre et la protection que leur prêtait la végétation luxuriante du terreau reconstitué prêtait au sol, ont eu leur existence assurée. Ces taches de terreau apparaissent souvent dispersées sur le terrain et on les rencontre aussi bien au-dessus des buttes qu'au fond des vallées.

Mais deuxièmement une formation tout aussi différente du terreau que de la tourbe existe sur de telles places fertiles. La superficie du sol semble aussi moelleuse sous le pied que le terreau et ne présente pas au creusage une consistance plus grande que celle que

les nombreuses racines de hêtres qui courent à la surface peuvent posséder. La couche supérieure, qui souvent atteint une épaisseur de 4 à 6 pouces (0^m,1046 à 0^m,1569) et au-dessus, a une couleur brun foncé et n'a pas l'apparence terreuse de la tourbe proprement dite. Les feuilles forment une couverture meuble ; mais, si l'on écarte cette couverture, on ne voit pas la superficie de la terre graveleuse, qui caractérise si bien la place où agissent les vers de terre. Les dépôts humiques qui existent sous les feuilles apparaissent comme des amoncellements de sciure fine et brun foncé, mélangés avec des restes plus grossiers de fragments de feuilles, petites branches, enveloppes de fruits de hêtre, etc.; à travers tout cela, des racines de hêtres serpentent en grande quantité sur la surface même, mais ne forment pas l'épais réseau si particulier à la tourbe. Mais tout à fait comme dans la tourbe, les pointes extérieures des racines sont souvent attachées intimement aux restes de feuilles et d'autres résidus organiques.

Si l'on délaie dans une capsule avec de l'eau un peu de la farine fine qui compose la masse principale de cette forme de terreau, elle se divise en une masse infinie de petits morceaux et de grumeaux qui généralement sont beaucoup plus petits que ceux dans lesquels la masse de la forme proprement dite du terreau se délaye, mais cependant ont une grandeur variable. Les grumeaux mêmes sont très tenaces, ne se laissent pas comprimer avec la plaque de verre et, aussitôt qu'on les broie fortement entre cette plaque et le verre de l'objectif, ils se décomposent en leurs éléments. Ceux-ci sont presque exclusivement de nature organique et de grandeur tout à fait égale et sont entremêlés seulement avec une masse entièrement évanescente, presque exclusivement microscopique, de parties inorganiques. Par suite de la masse extraordinairement grande de morceaux de chitine provenant des insectes, mélangés avec les éléments de cette forme de terreau, aussi bien qu'en vertu de leur structure et de leurs éléments, on est autorisé à admettre que ces dépôts consistent principalement en excréments d'insectes ; les petits débris microscopiques, tous de grosseur égale, dont les grumeaux sont composés, sont purement de petites parties d'éléments végétaux et chaque petit grumeau représente une partie enlevée tout d'un coup du contenu des intestins de petits insectes. Je n'ai jamais trouvé de

vers de terre dans les formations bien nettes de cette sorte, qu'on pourrait appeler terreau d'insectes (*Insekten Mull*) d'après son origine ou tourbe de terreau (*mullartiger Torf*) d'après ses autres caractères. Même dans le terreau d'insectes, les racines de hêtre sont accompagnées d'un mycélium brun foncé et un grand nombre de petites extrémités de racines forment ūn tissu avec l'épais réseau de mycélium et les résidus de feuilles. Aussi bien au milieu de la farine brune que dans les petits grumeaux mêmes se trouvent de grandes masses de fils noirs, mais qui sont presque tous brisés par les dents en petites parties très fines; aussi le canal digestif des insectes ne peut pas détruire, comme celui des vers de terre, ce tissu presque impérissable ; mais il peut seulement empêcher la transformation de la superficie du sol en un feutre analogue à la tourbe. Je ne connais jusqu'à présent qu'un petit nombre d'insectes, qui agissent dans cette forme de terreau, et ne puis citer que quelques larves de *Diptera* et de leurs ennemies, les larves *Elater*. On y trouve aussi les espèces de vers semblables aux anguillules (*anguilluleartig*) qui existent dans le terreau.

Un des échantillons analysés par M. Tuxen, provenant d'un enfoncement à Strandskov (Teglstrup Hegn à Seeland) [profil IX], renferme une plus grande quantité de matières organiques qu'aucune des autres espèces de sols analysés; tandis que la quantité d'humus conjointement avec l'eau chimiquement combinée, atteignait 62,5 p. 100, le taux d'acide humique libre soluble dans l'eau s'élevait à environ 2 p. 100. Cette grande richesse en matière organique dans le terreau d'insectes, en comparaison avec la teneur du terreau façonné par les vers de terre, démontre que là manque le facteur qui ici a opéré le mélange des restes végétaux divisés et à moitié détruits avec la terre minérale elle-même. Le travail que ces deux groupes d'animaux produisent par leur procédé de nutrition est par conséquent au plus haut point différent et le terreau d'insectes doit être d'après cela considéré comme une tourbe divisée par les insectes.

Leurs actions s'étendent, cependant, beaucoup plus loin que la couche superficielle du sol. Sous les tas d'une épaisseur de 4 à 6 pouces (0^m,1046 à 0^m,1569) de terreau d'insecte véritable, la terre n'est pas, à proprement parler, meuble comme là où le ver de terre

habite. Le sol est compact et seulement difficile à travailler à la bêche. A *Strandskov* existe immédiatement au-dessous du terreau et sans délimitation bien tranchée, une couche grise, épaisse de 3 à 4 pouces (0^m,07846 à 0^m,1046) de couleur de terreau clair, inégale, tachée et ondée avec peu de racines de hêtres. Celle-ci repose sur une couche également tenace et d'une épaisseur de 2 à 3 pouces (0^m,052 à 0^m,078) de couleur gris rouge brun avec des limites confuses et dessus vient le sous-sol jaune d'ocre. La couleur et les conditions de gisement ont tant de points communs avec les couches inférieures de la tourbe qu'on est certainement autorisé à dénommer ces couches terre rouge et sable plombifère, malgré leur cohésion ordinairement beaucoup plus grande, leurs délimitations beaucoup moins nettes, leurs fortes dimensions variables, et d'autres conditions différentes.

Si l'on examine ces couches de terre à la loupe, elles montrent des rapports de structure tout à fait semblables à ceux de la partie claire, superficielle du sous-sol gisant sous le terreau. Elles ressemblent à un tuf un peu tenace avec de nombreux canaux entrelacés, des ouvertures et de petites excavations; la compacité ne provient pas pour cela de l'épaisseur de la couche, mais bien de la cohésion de ses parties. La recherche de Tuxen a montré qu'elle doit être attribuée à l'acide humique qui sert de lien entre les particules de terre.

Une étude plus exacte des grumeaux, produits de la décomposition du sable plombifère et de la terre rouge sous le terreau d'insectes, montre que tous les canaux entrelacés et les petites excavations sont doublés dans cette masse par une couche fine, riche en humus et argileuse, évidemment déposée par l'eau qui s'écoule à travers. Le microscope montre de plus qu'il existe une certaine différence dans la teneur de la terre rouge et du sable plombifère en matières humiques. Dans la terre rouge, elles forment le plus souvent, sur chaque petit grain de sable, une sorte de couverture rouge brun et donnent par cela même sa couleur à la couche. Dans le sable plombifère, au contraire, elles sont en plus grande partie déposées sous forme de particules humiques fines, brun noir, au milieu des éléments minéraux. Il semble que, dans le sable plombifère, elles ont été en partie extraites par l'eau de la couche superficielle

du terreau et, par contre, dans la terre rouge, elles se sont précipitées de préférence sur les grains de la dissolution aqueuse de l'acide humique et des humates, qui pénètre jusqu'en bas.

Je ne puis indiquer aucune végétation caractéristique du terreau d'insectes ; la plupart des espèces des forêts de hêtres pourraient se trouver ici, quand les couches atteignent une plus grande puissance ; pourtant l'airelle paraît bien réussir sur un pareil terreau divisé et son développement ne diminue que dans la tourbe compacte. La croissance du hêtre n'est pas à la vérité aussi bonne que dans le terreau proprement dit, mais beaucoup meilleure que sur la tourbe.

Tourbe sans masse de racines. — Sur de plus petites places, aussi bien dans les sols de tourbe que dans les parties sablonneuses, élevées et sèches, dans les forêts de hêtres riches en terreau, la couche superficielle du sol conserve un état un peu différent. A la pression, elle semble avoir une consistance analogue à celle de la tourbe, mais, si l'on pousse plus loin la recherche, on constate que sa cohésion est beaucoup plus faible et que la masse de racines caractéristique de la tourbe de hêtres fait défaut. A cause de cela elle se laisse facilement déchirer, mais les parties ont pourtant une forte cohérence, comme si elles avaient été liées ensemble les unes aux autres par une toile d'araignée invisible. Le microscope montre que le lien consiste ici presque exclusivement en un mycélium noir brun, qui s'étend librement depuis les racines du hêtre jusqu'à la superficie du sol et a enlacé celle-ci en une masse gris noir de faible puissance de un demi à trois quarts de pouce ($0^m,01307$ à $0^m,01961$). Je n'ai jamais trouvé de ver de terre à de semblables places.

On trouve un état analogue dans le sol qui porte les plantations de hêtres sur le sable mouvant de *Hornbäcker Plantage* à *Seeland*. Là, le sable mouvant porte à certaines places une plantation de hêtres qui ont relativement une très bonne croissance et qui, à l'âge d'environ 20 ans, ont atteint une hauteur de 15 à 20 pieds ($4^m,708$ à $6^m,277$). Le sol sur lequel ils croissent paraît cependant être un peu moins meuble que le sable sur les endroits nus en dehors des plantations, et l'examen microscopique montre que le lien est aussi produit ici par un développement extraordinairement riche du mycélium noir brun, qui s'étend librement des racines de hêtre dans

le sol, enveloppant de ses fils des parties d'insectes et les racines de hêtres de constitution encore normale ; il a pu çà et là lier solidement, à la superficie du sol, une feuille ou une tige de graminée. Là aussi, le ver de terre fait complètement défaut et je pense que ces parties, si l'homme ne porte pas une main destructive sur le développement naturel des phénomènes, se transformeront immanquablement en humus type.

Tourbe de mousse. — On voit fréquemment sur de plus petites parties, dans les forêts de hêtres, le sol recouvert d'une couche compacte et cohérente et noirâtre, d'une puissance restreinte, un demi-pouce à un pouce et demi ($0^m,01307$ à $0^m,03923$), dans laquelle la masse de racines particulière à la tourbe de hêtres fait défaut et où aussi le mycélium noir brun ne joue aucun rôle prépondérant, quoique pourtant il s'y trouve également. En revanche il existe un autre tissu qui a une très grande extension et dont la couleur varie du jaune brun au brun foncé et celui-là semble en partie avoir entrepris de jouer le rôle du tissu de cladospores ; car il enlace de la même façon et il enterre des écorces de fruits, des couvertures de bourgeons, des petits morceaux de feuilles et d'autres restes organiques qui forment la couverture des forêts. Les parois de leurs cellules obliques caractéristiques et leur contenu granuleux montrent que ce sont des fils de Thallus mousseux (*Moosthallus*).

Ce dernier semble ainsi jouer le rôle principal à de telles places, dans ces formations de tourbe plus faibles, de moindre cohésion que celle de la tourbe de hêtre et accompagnées d'une formation de sable plombifère qui fait pourtant souvent défaut. Le mycélium noir brun, qui aussi ne manque pas complètement ici, enlace et entoure de son tissu les restes de mousse morts, les débris de feuilles et de tiges, tout à fait comme la couverture dans la tourbe de hêtre; parfois la superficie de la tourbe de mousse présente un aspect tout particulier, comme des places noires, presque brillantes ou visqueuses, qui, après une longue saison humide et avec un certain éclairage, tirent sur le vert. Ces places noires sont formées d'une tresse crustacée et le microscope montre que la lueur verte qu'a la superficie de la terre par un temps humide est produite par

une grande masse de corpuscules qui doivent être certainement considérés comme algues.

Aux places extraordinairement sèches et pauvres en tourbe, où j'ai trouvé particulièrement les différentes formes de la tourbe de mousse, la forêt de hêtres est en aussi mauvais état de croissance que sur la tourbe de hêtres proprement dite ; le sol est compact et c'est en vain que j'y ai cherché des vers de terre.

Dépôts humiques mélangés. — Dans ce qui précède, j'ai cherché à décrire les formes particulières de terreau et de tourbe que j'ai observées. Mais, dans la nature, ces types et ces variétés se présentent, dans un nombre infini de cas, avec des caractères beaucoup moins bien définis qu'on ne pourrait l'admettre d'après la description précédente. La forêt de hêtres présente, à franchement parler, la variété la plus bigarrée de formes de transition. Ainsi la tourbe est plus ou moins travaillée par des insectes, et pour cela, est bien loin d'offrir partout la même consistance et la même ténacité. La végétation de l'airelle semble être en relation avec ces conditions, car elle est plus faible ou fait complètement défaut sur la tourbe tout à fait compacte. Le Thallus mousseux (*Moosthallus*) rivalise à beaucoup de places avec le *mycelium* noir, pour tisser le sol, et enfin le développement plus puissant ou plus faible et plus sporadique de la faune des vers de terre produit une grande série de formes transitoires entre le terreau et l'humus. Cela se produit aussi dans le développement fort différent de la végétation des phanérogames et des mousses. Dans les coupes d'ensemencement très étendues du Grand-Hareskov (Seeland) se trouve une variété aussi multiple des diverses formes de l'humus. Le sol semble en général apte à une formation d'humus, mais celle-ci est seulement visible par places et laisse penser, d'après le développement puissant et la haute croissance des anciens districts de hêtres, que nous avons ici une formation de tourbe à son début, d'origine relativement récente. Le sol est en général un peu compact, mais pourtant pas assez pour que la herse ne puisse pas être employée utilement, ce qui est tout à fait impossible dans les formations de tourbe en complet développement. La végétation luxuriante consiste principalement en *Asperula, Oxalis* et *Melica,* mais, par-ci par-là, viennent s'ajouter l'*Aira,* le *Majanthe-*

mum et la mousse, et là où ces derniers restent seuls, on rencontre sous eux des couches minces de tourbe avec des bandes de sable plombifère et de terre rouge. Parfois la limite n'est pas distincte ; on y trouve quelques tas de *Majanthemum* et d'*Aira* au milieu de plantes grêles d'*Asperula* et de *Malica*; mais là où la mousse y était associée, on ne voyait presque rien des deux dernières plantes. Beaucoup d'autres districts de vieilles forêts de hêtres offrent une image analogue d'époque de transition qui, après bien longtemps, sont devenues fortement éclaircies; plus loin, beaucoup de lisières de bois sans protection et des collines dentelées faisant saillie, qui sont plantées de vieux hêtres. Je tiens pour extrêmement vraisemblable qu'elles indiquent une formation de tourbe à son début ou un développement plus lent et imparfait de cette forme d'humus.

Propagation et état naturel.

Il n'a pas été possible d'établir une relation entre la formation du terreau et de la tourbe avec la teneur de la terre minérale en sels alcalins solubles, chaux et analogues. Le terreau peut exister sur un sol très maigre, la tourbe sur un sol moyennement riche. Au contraire, il semble exister une relation certaine entre l'existence de ces dépôts et le degré d'humidité du sol.

Le terreau de hêtre bien défini s'étend très loin dans nos forêts sur l'argile de galets, principalement là où le terrain ne s'élève pas en chaînes de collines dentelées, ou bien forme des excavations profondes et humides. De même sur l'argile réfractaire, le terreau se rencontre ordinairement partout où le sol porte une végétation moyennement vigoureuse. Il y forme pourtant des couches de moindre puissance et disparaît très vite aux places où la forêt en croissance est subitement éclaircie et le sol mis à nu. Mais le terreau ne fait pas non plus défaut sur le sable d'alluvion bien défini, où la forêt consiste en massifs élevés en bonne futaie pleine, ou bien quand la nature du terrain ou la direction de la pente est favorable au maintien du sol en état frais, comme dans les versants du Nord (par exemple à *Silkeborg Nordskov,* dans la forêt privée *Ryer,* à *Additkov,* près *Salten-Langso*, dans la forêt d'*Engelholm*, près Veile, et à beaucoup

d'autres places dans le Jütland, ainsi que dans les forêts des côtes de la mer du Nord).

La tourbe de hêtre est au contraire beaucoup plus fréquente sur le sable d'alluvion que sur les sols forestiers argileux.

Dans une grande quantité de peuplements de hêtres dans les grandes étendues de forêts autour de Silkeborg, dans le Jütland, le sol est recouvert de couches de tourbe puissantes et étendues, et d'autres districts forestiers sur un sol analogue dans le Jütland montrent des propriétés analogues. Sur la partie sableuse, petite, bas placée au nord de la Fionie, avec du sol frais je n'ai rencontré de tourbe nulle part, tandis que nous la trouvons de nouveau avec un développement puissant dans les grandes forêts qui recouvrent le sable des pays de la mer du Nord, qui, par sa surface fortement coupée, a tant de points communs avec les terres jütlandaises. La tourbe n'existe pas ici fréquemment dans les districts de futaies pleines, mais dans les forêts claires ou dans les bocages, dont le nombre restreint de tiges et la vilaine forme des arbres à couronnes basses prouvent d'une façon significative qu'ils ont été auparavant épuisés par la sylviculture.

Mais, en même temps nous trouvons par places, à certains endroits, cette forme des dépôts humiques avec un sol plus ou moins argileux ou un sous-sol argileux. Cela est particulièrement le cas des chaînes dentelées, en saillie, livrées à la merci du temps et situées vers l'Est et le Sud (*Folehaveskov, Jägersborghegn* dans *Seeland*) ou le long de la lisière des bois ouverts et mal protégés, en beaucoup d'endroits de notre pays. Les grandes et petites oasis d'argile, qui se trouvent parfois dans les buttes sèches de sable, sont aussi très fréquemment recouvertes à l'intérieur d'une formation de tourbe.

Parfois, cette formation se trouve notamment sous la forme travaillée par les insectes, aussi sur un tout autre terrain, sur un sol placé bas ou « acide ». De même la tourbe terreau, développée d'une façon plus ou moins typique, couvre de vastes étendues de forêts humides, ou bien se rencontre dans des couches puissantes, dans les excavations encaissées, dans le terrain recouvert de terreau.

L'exploitation de la forêt semble exercer une influence significative sur le développement de la tourbe et du terreau. On constate ce fait avec le plus de facilité là où les limites de démarcation entre ces

deux sortes de dépôts humiques sont formées par des lignes qui ne sont pas du tout accidentelles ou des lignes artistiques, un chemin, une frontière de séparation ou analogue, et j'ai toujours remarqué alors qu'une pareille ligne formait en même temps les limites entre les deux modes de traitement différents de la partie de la forêt considérée. C'est pour cela que la formation de tourbe, qui se fait sporadiquement, prédomine dans d'anciennes coupes d'ensemencement délaissées, ou dans des coupes d'éclaircie par trop claires, dans les forêts où un enlèvement excessif des plantes a été pratiqué et à des endroits analogues.

Tandis que ces deux formes principales sont répandues sur de très grands espaces, la tourbe semble se former de préférence sur un terrain sec, éclairé, quoique planté tant soit peu d'arbres. C'est, par conséquent, une formation réelle de tourbe à sec (sur terrain sec). D'ailleurs, les formations tourbeuses se rencontrent dans les forêts humides, acides, qui, par leur développement et leur origine, se rapprochent de certaines formations humiques s'accomplissant sous l'eau, que Post a décrites sous le titre de « Dy », limon. Le terreau est donc principalement limité aux emplacements extrêmement frais. Je n'ai pu omettre d'associer ces observations avec le caractère de la vie organique aux endroits examinés, notamment avec l'apparition de la faune des vers de terre surtout au point de vue de l'une de leurs conditions, le degré d'humidité, apparemment indépendant de la composition minéralogique du sol, pour les emplacements constitués de la même façon.

Je ne suis pas encore aujourd'hui en état de communiquer les observations sur l'existence de la tourbe sur le sable et l'argile, car, jusqu'à présent, mes recherches n'ont porté que sur un nombre trop restreint de terres marneuses et calcaires, pour que je puisse tirer de leur caractère des conclusions générales certaines.

La transformation du terreau et de la tourbe.

Passage du terreau à la tourbe. — C'est un phénomène tout à fait merveilleux et intéressant que l'on trouve parfois de beaux peuplements de hêtres en bon développement qui atteignent une hau-

teur de 80 pieds (25^{m},08) sur une couche de tourbe qui se développe elle-même puissamment, tandis que ni la nature, ni l'art ne peuvent produire une seconde végétation sur un pareil sol. La graine germe bien et les jeunes hêtres végètent pendant quelques années avec tous les signes d'un état maladif, mais meurent plus tard. Des étendues très considérables de forêts sur les sols sableux montrent un état peu prospère, tandis que le rajeunissement est en général facile sur le terreau. Aux places où la seconde croissance des hêtres réussit en petits groupes sur une surface tourbeuse, j'ai toujours trouvé du terreau ou tout au moins de la tourbe fortement divisée par les insectes. Il est donc à peine possible de tirer de cela une autre conclusion que la suivante : le sol aujourd'hui recouvert de tourbe l'a été autrefois de terreau, et l'époque de la transformation ne peut pas être antérieure à l'âge de la forêt de hêtres en croissance.

Il semble que la tourbe se développait plus facilement dans les districts très vieux ou anciens, dans lesquels la circulation de l'air sous les couronnes est plus forte et où la superficie, par conséquent, peut se dessécher plus rapidement.

Pourtant, il ne manque pas de jeunes peuplements sur les couches plus faibles de tourbe, principalement là où elles ont eu une situation sans défense ou sont seulement petites : elles ont donc toujours une croissance mauvaise et très lente. Quoiqu'il ne soit pas facile, sans un point d'appui historique déterminé, d'indiquer avec certitude la façon et le mode suivant lesquels le terreau s'est transformé en tourbe dans les forêts de hêtre, je puis cependant, en me basant sur des observations multiples, conclure que le sol est toujours plus exposé à la formation de la tourbe quand l'âge et l'épaisseur du peuplement diminuent. Ainsi dans le grand Hareskov (Seeland) une ligne de séparation, qui n'est pas le moins du monde en relation avec les différentes variétés du sol et du terrain, forme la frontière entre une jolie plantation de hêtres sur du bon terreau et le reste de la surface, portant une magnifique et ancienne forêt de hêtres, avec des arbres hauts de 70 à 100 pieds (21^{m},949 à 31^{m},385) : là apparaît une faible formation de tourbe et le rajeunissement est extrêmement difficile. Cinquante années environ auparavant, cette forêt servait de coupe d'ensemencement, vraisemblablement peu d'années

avant ou après que la forêt qui livrait les arbres mères (*Mutterbaum*) pour le perchis de hêtres eût été éclaircie. Il n'est pas vraisemblable que le sol des deux côtés de la ligne fût autrefois différent, et la formation de tourbe, commençant à se produire dans la forêt aujourd'hui ancienne, doit à cause de cela se développer depuis ce temps-là. Beaucoup d'autres observations renforcent la conjecture que dans les forêts de hêtres bien formées, les formations de tourbe se sont réellement développées sous les peuplements qui croissaient en dessus et ne peuvent être plus anciennes que ceux-ci.

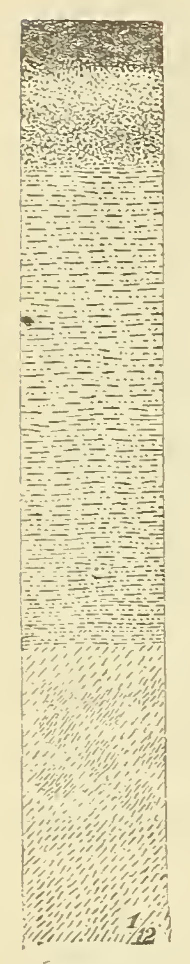


Fig. 9. Profil X. Gribs-Skov. (Tumlingevang).

Mais le caractère du sol même conduit à la même hypothèse. Sous les couches de tourbe faibles existe, entre la terre rouge et le sous-sol, une couche intermédiaire parfaitement poreuse et bien mélangée, qui n'a aucun rapport avec la couche correspondante du terreau. Dans le *Tumligevang*, dans le cinquième district forestier de *Kronborg* (*Seeland*), existait autrefois un vieux district de hêtres, de belle apparence, mais avec des cimes sèches, qui depuis un temps très long avait servi comme coupe d'ensemencement. Sa forme dénotait une excellente croissance au temps passé. La nature du sol est indiquée par le profil X (fig. 9). Sous une couverture de tourbe qui n'est pas particulièrement épaisse, avec la couche de sable plombifère et de terre rouge y appartenant, se trouvait une couche plus poreuse de même caractère que la couche supérieure (*Obergrund*) du sous-sol sous le terreau, et qui descendait aussi profondément que cette dernière sous forme de réseau. En dessous se montrait un sous-sol un peu plus argileux et plus compact, dont la couche tout à fait supérieure avait une coloration claire. Abstraction faite de la couche supérieure, épaisse de 5 à 7 pouces (0^{m},1307 à 0^{m},1830), la nature du sol ne diffère à aucun point de vue de celle que j'ai si souvent trouvée là où le bon terreau se trouve sur un sol plus léger avec une nombreuse population de vers de terre.

Il est d'ailleurs évident que là où les racines de hêtres participent si fortement à la formation de la tourbe de hêtre, en tous cas, une

végétation de hêtres, quel que soit son développement, est nécessaire avant que la tourbe de hêtre proprement dite puisse prendre naissance. Là où un sol de terreau est dépouillé une fois pour toutes de sa végétation forestière par un déboisement complet, ou bien dans les endroits où, au lieu d'installer une coupe d'ensemencement, on enlève tant d'arbres qu'il reste sur le terrain seulement quelques tiges disséminées, là cette formation ne peut se développer même quand le lieu réunirait les autres conditions favorables à son développement. La pleine lumière sur les sols forestiers riches en terreau provoquera promptement une végétation toute nouvelle de plantes herbacées qui, de nouveau, serviront à la préparation d'une nouvelle récolte dans une série rapide d'échanges répétés plusieurs fois. Dans ces conditions, le terreau conservera son caractère principal, et seulement en vertu des changements éprouvés par la vie organique qui se développe en lui, ne souffrira pas des altérations considérables, ou bien il croîtra une succession de plantes herbacées sur le sol qui se convertira en formation tourbeuse par cette végétation qui se termine sous forme de bruyère et dont on parlera plus loin. Tout forestier expérimenté pourra constater cette marche du développement, que de nombreuses observations faites par moi sur des places délaissées et nues dans nos forêts m'ont démontrée[1].

Les changements de la tourbe. — La tourbe de hêtre proprement dite ne semble pas pouvoir donner naissance à aucune nouvelle végétation arbustive, quand la nature reste abandonnée à elle-même. Ainsi lorsque la forêt disparaît à cause des ravages soudains causés par l'incendie des landes et de la forêt, ou par l'irruption annuelle du vent sur les bords des forêts de l'Est, — une œuvre de destruction plus lente mais aussi plus inflexible, — alors le sol recouvert de tourbe cesse provisoirement de porter la forêt. J'ai observé deux sortes de végétation qui, dans ce cas, prenaient la place des hêtres.

---

1. La façon extrêmement intéressante dont se transforment les végétations sur une place déboisée dans une forêt de hêtres n'a pas été, à ma connaissance, jusqu'à présent, étudiée de près et doit être recommandée à l'attention des botanistes. Senft a fait quelques observations extrêmement jolies sur ce point dans une forêt de pins de l'Allemagne centrale. (Danckelmann, *Zeitschrift für Forst- und Jagdw.*, t. IV.)

Aussi bien dans les forêts de *Silkeborg* (*Jütland*) que dans celles des bords de la mer du Nord, on voit déjà, un an ou, en tous cas, deux années après que la vieille forêt de hêtres a été coupée sur un terrain revêtu de tourbe, le sol entièrement recouvert d'*Aira flexuosa*. Cette herbe, qui déjà se trouvait dans la forêt de hêtres consistant en massifs élevés en futaies imparfaites en nombreux tas isolés, s'étend, quand la pleine lumière a pénétré sur le sol des forêts, sous forme de couverture continue, dont le tissu de racines, épais et tenace avec des prolongements durs et pointus comme des aiguilles, fait une trouée dans la tourbe et la traverse de part en part. De telles places boisées apparaissent au temps d'automne comme un champ de blé ondoyant, jaune rouge, et les forestiers connaissent bien les difficultés presque insurmontables qu'ils rencontrent ici dans leur lutte avec les plantations de hêtres. J'ai examiné la tourbe à une place à Gribsskov (Seeland) qui était recouverte de la plus épaisse et la plus luxuriante végétation d'*Aira flexuosa*, et où cette végétation s'était maintenue au moins pendant dix ans et vraisemblablement beaucoup plus longtemps, car dix années s'étaient écoulées depuis l'époque où les derniers arbres avaient été enlevés et le peuplement antérieur était resté au moins aussi longtemps extraordinairement éclairci. Le sol consistait en sable extrêmement argileux, d'une puissance considérable, et les couches gisant entre ce sable et la tourbe avaient conservé en apparence le même caractère qu'elles avaient dans la forêt de hêtres ; mais l'herbe étendait son réseau de racines profondément au-dessous de la couche de tourbe et une des propriétés de celle-ci s'était changée d'une façon très instructive. La masse noire était compacte, paraissait presque sans structure et faisait l'impression d'un buisson compact. De l'analyse microscopique, il ressortit que presque tous les restes de feuilles, les écailles de bourgeons, fleurs, etc., que la tourbe de hêtre fraîche contient, étaient transformés en un limon dans lequel, à la vérité, on pouvait encore découvrir la trace des éléments de la composition originaire, mais où tout aussi bien les racines de hêtres que les déchets étaient transformés presque entièrement en une masse savonneuse. Cette dernière, autant que je pus le voir, ne renfermait pas un seul fil vivant du mycélium noir ; mais d'une masse infinie de petits débris de ce mycé-

lium, on pouvait induire combien il a été répandu et à quel point ce tissu est indestructible ; une série d'années n'a pas réussi à le détruire.

Sans doute, la tourbe était encore extrêmement riche en acide humique libre et le ver de terre manquait encore, mais la couche elle-même était, à n'en pas douter, en état de dissolution; elle devait uniquement sa consistance et sa ténacité aux racines de graminées qui la cassaient en la traversant un grand nombre de fois, et à une série de larves et d'insectes que je n'ai jamais observés dans la tourbe de hêtre et qui, sans doute, sont appelés à produire l'œuvre de destruction. L'aire et sa faune réussiront-elles à détruire peu à peu cette formation de tourbe et à rendre de nouveau la place habitable pour les plantes et les animaux ? Cela ne peut être affirmé avec certitude, mais me paraît cependant très vraisemblable.

Mais une forêt de hêtres avec formation de tourbe peut aussi être vidée complètement de bruyères, comme cela arrive en plusieurs endroits au Jütland, mais comme aussi c'est le cas çà et là dans la partie nord de Seeland.

Dans les forêts de hêtres jütlandaises, qui confinent plus ou moins immédiatement à des landes, les bords du côté Est, où les collines dentelées font saillie dans la forêt même, se montrent d'une façon très intéressante, comme la lande, partout où son développement n'a pas été enrayé par les hommes, chaque année faisant des progrès vers l'Est. La lisière de la forêt ouverte sans protection est ici toujours constituée par des arbres à cime desséchée ou dépérissants et ceux-ci sont éloignés ou bouleversés par l'action destructive commune du vent, des insectes et des champignons ; aussi la nouvelle lisière de forêt constituée présente pour cela le même aspect. Au dire de l'habitant, la rapidité avec laquelle la bruyère s'étend doit être au plus haut point importante et en beaucoup de places s'élever en une année à plusieurs toises et plus. Plus à l'intérieur de la forêt, où l'ombre est plus épaisse, la tourbe est couverte d'airelles ou de la végétation trientalique ordinaire et insignifiante, qui toutes deux doivent céder la place aux bruyères, quand la lumière est assez forte. Ainsi la tourbe de hêtre se transforme peu à peu en culture de bruyères, et c'est à peine si l'on peut émettre un doute sur la question de savoir si les couches puissantes de sable plombifère et les

formations d'*Ortstein,* qui parfois se rencontrent sous des landes relativement jeunes, n'ont pas été produites par celles-ci, mais bien par la forêt de hêtres, à laquelle elles ont succédé dans le sol. Cependant j'ai vu à de pareilles places la couverture de bruyère envahir le sol de terreau depuis les bords; seulement, la formation de tourbe doit pourtant favoriser à un haut degré le développement de la bruyère, notamment en empêchant que la forêt elle-même forme un bastion contre l'irruption de sa croissance et qu'elle exclue une série d'autres plantes qui, de même que la bruyère, peuvent porter des perches.

Étude comparative de la tourbe de hêtre et de la tourbe de bruyère.

Quand on connaît les formations de bruyères proprement dites, on doit, dans notre description des propriétés de la tourbe de hêtre et des couches qui l'accompagnent, trouver une large ressemblance entre les aspects du sol et ceux qui sont concomitants de la végétation des bruyères sur nos landes étendues du Jütland. Mais si l'on compare trait pour trait ces deux formations, l'accord est encore beaucoup plus surprenant.

Déjà la végétation des plantes dominantes et les plus répandues (ici le hêtre, là, la bruyère) est la même dans ses traits principaux. La *Trientalis* et l'aire de treillis (*Drahtschmiele*) sont aussi bien des plantes caractéristiques des landes de bruyères que des forêts de hêtres sur la tourbe; certes, ni le *Majanthemum bifolium,* ni la *Potentilla Tormentilla* ne font une fois défaut, et particulièrement on voit ces deux dernières plantes çà et là sur la lande découpée, qui a été aérée pendant deux années. De plus, comme on le sait, le sol des landes est recouvert d'une tourbe tenace et compacte analogue à celle des forêts de hêtres sèches et enfin dessous se trouvent les couches connues de sable plombifère et d'*Ortstein* qui s'étendent sur la superficie du sous-sol jaunâtre avec une puissance parfaitement égale à celle des forêts de hêtres. La qualité distinctive de la vie animale plus évidente dans la tourbe de hêtre, l'absence du ver de terre et de son compagnon la taupe est, au dire des habitants

des landes expérimentés, également caractéristique pour la faune des landes.

L'accord entre ces deux formations n'apparaît pas seulement dans les grands traits, mais dans des faits de moindre importance. Ainsi, on observe à la loupe un tissu de racines absolument semblable dans la tourbe de bruyère et dans la tourbe de hêtres, et dans celle-là, ce sont des racines de bruyères qui forment un tissu serré et fin, si particulier à la tourbe. Si l'on ne connaît la bruyère que d'après nos étendues de landes, on pourrait croire que cette formation entrelacée des racines est particulière à la bruyère ; mais il n'en est pas du tout ainsi. Là où les plantes recouvrent un sol qui a des propriétés tout à fait analogues à celles du terreau et où elles n'ont pas eu trop longtemps la domination sur le terrain, la bruyère étend ses racines aussi librement tout autour de la terre que le hêtre dans le terreau (par exemple sur le champ de *Oerholm,* dans le premier district forestier de Copenhague). Mais sur les étendues de landes plus anciennes se développe peu à peu la tourbe de hêtre, qui n'est en aucune façon caractéristique des landes jütlandaises, mais qui apparaît çà et là dans le nord de Seeland et, à la vérité, accompagnée du sable plombifère et de l'*Ortstein,* ou de la terre rouge, qui ont parfois une grande ténacité et une grande puissance (par exemple sur le sable mouvant de la *Sonneruper* et *Aellinger Plantage* dans le *Odsharde* à *Seeland*).

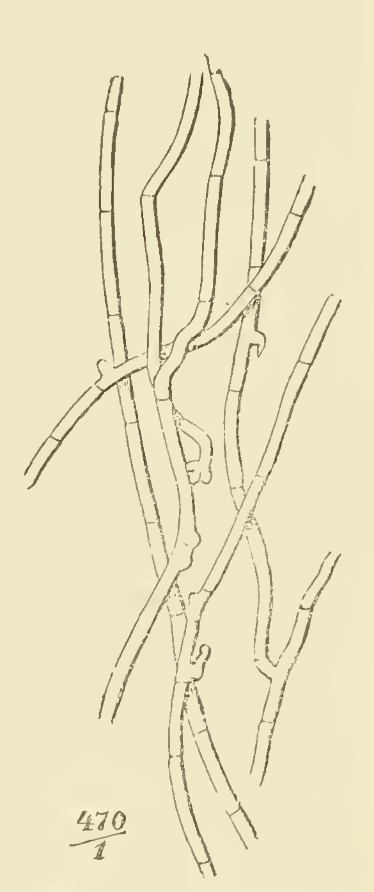


Fig. 10. — Mycélium mousseux brun durable dans la tourbe de lande.

Si l'on soumet la tourbe de bruyère à une analyse microscopique, on est conduit à admettre que l'origine de cette formation est tout à fait analogue à celle de la tourbe de hêtre. Aussi bien les racines vivantes que les racines mortes de bruyères sont pour ainsi dire traversées par un tissu de mycélium fin et lisse, de couleur brun foncé, qui est analogue à celui de la tourbe de hêtre, mais qui réellement appartient à une autre espèce, car il est beaucoup plus fin, n'a pas des cellules bouclées aussi régulièrement construites que le cladospore de

la tourbe de hètre et a vraisemblablement un autre mode de ramification. Il semble que ce tissu plus fin se comporte de la même façon que celui-là ; il se détruit très difficilement et accompagne partout les racines de bruyères, même là où il n'existe aucune trace de formation de tourbe.

Aussi, dans la tourbe de bruyère, nous trouvons un travail plus ou moins fort fait par les insectes et souvent elle contient une masse d'excréments et des restes de chitine d'arthropodes ; mais ces couches n'augmentent pourtant jamais le degré de porosité, comme dans la forêt de hêtres. Dans les landes, la tourbe a de beaucoup une structure infiniment plus fine que dans les forêts. Cela tient en partie à la quantité moindre de restes de bruyères et en partie à la riche végétation de lichens qui recouvre le sol dans les landes et donne par sa décomposition, comme on le sait, un humus poussiéreux fin, qui augmente encore l'épaisseur de la tourbe de bruyère. A ces circonstances, il faut certainement ajouter le fait que les limites entre la tourbe et le sable plombifère dans la lande sont souvent plus confuses que dans la forêt de hêtres. La partie supérieure du sable plombifère est souvent fortement colorée en noir, principalement à l'extérieur par les fines particules d'humus semblables à du charbon, qui, vraisemblablement ont été transportées en bas de la tourbe dans le sable plombifère par l'eau et qui le colorent souvent en noir, à une profondeur assez grande, comme par exemple dans les affaissements où une affluence d'eau plus forte a lieu. Mais aussi dans la tourbe de hêtre, ces formations ne font pas complètement défaut, quoiqu'elles s'y trouvent plus rarement et à un degré moindre.

Si nous envisageons les propriétés chimiques de ces deux formes de tourbe, nous y trouvons aussi une concordance réelle. Les analyses de sols de landes faites par Tuxen[1], montrent qu'il y a dans la tourbe

---

1. *S. Tidskr. f. Skovbr,* t. I, p. 270 et 277. La teneur faible en humus, environ 13 p. 100, que renferme la croûte des landes prélevée de la plaine au voisinage du pied Est du talus, peut s'expliquer par ce fait qu'elle avait pris du sable amené par le vent ; enfin, même sur la lande recouverte de bruyère, un sable mouvant prend naissance par un vent fort et les parties de la surface situées à l'Est des collines sont, par suite, dans le voisinage de celle-ci, exposées à l'afflux du sable.

des landes une teneur en substances organiques presque aussi grande que celle de la tourbe de hêtre, alors que la tourbe provenant des talus renferme environ 35 p. 100. Ces deux couches humiques sont relativement riches en matières humiques acides, solubles dans l'eau froide[1] et aussi bien le sable plombifère que la terre rouge se comportent, au point de vue de leur teneur en matières humiques et de leurs caractères, de la même manière sous ces deux sortes de tourbes; seulement, la terre rouge de la forêt de hêtres dans les localités sur lesquelles ont porté nos recherches, est un peu moins riche en substance organique que la terre rouge de la lande. De plus, le transport des substances minérales solubles du haut en bas qui, aux deux places, est le phénomène fondamental, est le même, bien que la terre rouge de hêtres renferme une quantité beaucoup moindre de sels solubles que l'*Ortstein* des landes, ce qui est probablement en rapport avec la richesse plus grande du dernier en humus. Aux deux places, le sable plombifère est à un haut degré maigre et la terre rouge paraît plus riche, dans la plupart des substances, qu'elle devrait l'être par rapport à la distance de la superficie[2]. Les couches inférieures de la tourbe de lande paraissent en tout présenter avec plus de netteté les rapports exprimés des couches correspondantes de la tourbe de hêtre.

Enfin, en ce qui concerne l'état de la tourbe de lande, on reconnaît aussi là un accord frappant avec celui de la tourbe de hêtre. Aucun des deux n'est lié à une espèce de sol déterminé. Nous trouvons dans la lande, à vrai dire, tout aussi bien que sous la tourbe de hêtre, des taches fortement argileuses, sur lesquelles la bruyère étend sa couverture uniforme, si bien que le creusage démontre d'abord que les différences les plus importantes dans les sols n'existent pas à la superficie. Alors que, sans doute, la plus grande partie de la lande repose sur un sol de sable maigre, il y a pourtant aussi de grandes étendues de ces landes sur des sols très argileux, comme par exemple dans la plantation de Lövstrup, dans le Jütland et, d'après une communication du capitaine Dalgas, dans la grande lande du cou-

---

1. Voir les *Analyses de Tuxen*.

2. Comparez les représentations graphiques de la publication mentionnée précédemment avec celles annexées à ce travail.

vent (*Klosterhaide*) sur la partie montagneuse entre *Lemvig* et *Holstebro*. Mais la masse particulière de racines, superficielle, de la plante arbustive dominante est commune aux formations de tourbe dans la lande et la forêt de hêtres et la situation sèche, ouverte et non protégée qui nécessairement exerce une influence considérable sur la vie entière organique du terrain, et à la vérité, non moins grande sur la partie de la forme qui est importante pour la formation du terreau.

DISCUSSION

Des différentes formes d'humus.

Nous allons chercher, dans ce qui suit, à faire mieux comprendre la portée des observations précédemment décrites, en les classant dans la série de celles faites antérieurement dans les mêmes circonstances et qui sont particulièrement propres à éclairer la question. Nous commençons cette discussion par une étude plus détaillée des variétés de types d'humus observées.

La formation de l'humus est ordinairement envisagée comme une oxydation, une combustion des déchets de la vie organique à la surface et dans l'épaisseur de la croûte terrestre, et la chimie démontre que les décompositions chimiques qui font disparaître les restes des plantes et des animaux sont des phénomènes d'oxydation dont les produits finaux sont de l'acide carbonique, de l'eau, de l'ammoniaque, etc. La plus récente recherche faite au point de vue des caractères naturels, a démontré ultérieurement à quel point les organismes les plus infimes provoquent et activent cette décomposition. Mais, en ce qui concerne spécialement le terreau, il n'a été fait jusqu'à présent qu'un très petit nombre de recherches qui puissent résoudre la question de savoir à quelle cause sont dues les variations si multiples du procédé d'humification sur un sol ferme. Le plus souvent, cette multiplicité a été attribuée à des causes climatériques et physiques analogues et en relation avec la constitution des restes désagrégés. Cependant, le professeur Schiödte a affirmé dans la *Tidsskrift for Skovbrug,* que le monde des insectes doit aussi jouer un rôle

considérable dans la formation du terreau ; mais les premières recherches véritablement exactes sur l'origine des diverses formes de l'humus ont été publiées par le Suédois Hampus v. Post dans son remarquable travail, trop peu mis à profit à l'étranger, et intitulé « *Nutidens koprojena jordbildningar*[1] ». Nos propres observations ne peuvent pas contribuer d'une façon notable à éclairer la nature des phénomènes chimiques qui s'accomplissent dans l'humification ; d'autre part, bien que pour un domaine encore limité, elles apportent une contribution plus étendue à la notion acquise grâce au travail de Post, d'après laquelle la plupart des formes d'humus que l'on rencontre sur la terre ferme doivent être considérées comme consistant principalement en excréments animaux.

La *division mécanique des restes organiques* est la première phase de l'humification qui frappe tout d'abord les yeux.

Partout où, dans une forêt de hêtres, nous avons examiné les déchets (*Abfallmasse*), réellement divisés et en décomposition, nous avons constaté qu'ils avaient principalement le caractère d'excréments animaux et ces détritus forment des couches si puissantes que les dépôts humiques sont, dans beaucoup de cas, constitués par cette matière. Mais, à l'action divisante des animaux, s'ajoute celle des plantes saprophytes. La légion innombrable des champignons s'étend partout où se trouve la moindre trace de déchets de vie organique et son rôle consiste à délayer et à diviser encore davantage les parties les plus fines. Si donc nous ajoutons à cela l'action de myriades d'organismes inférieurs du règne des monères, qui, comme nous l'ont appris les recherches d'autres observateurs, peuplent ces détritus, il paraît hors de doute que cette première phase de l'humification est essentiellement l'œuvre des animaux et des plantes saprophytes.

Un autre fait vient encore à l'appui de cette thèse : le degré et le mode de division et, en même temps, la forme de l'humus semblent être en relation étroite avec la flore et la faune du lieu de provenance. Nous avons vu plus haut comment certaines différences frap-

---

1. H. V. Post, *Studien öfver Nutidens koprojena jordbildningar, Gyttje, Dy, Torf och Mylla* (*Kgl. Svenska Vetensk. Akad. Handl.* Bd. IV, Stockholm, 1862).

pantes dans la vie organique, sur deux localités d'ailleurs absolument pareilles, occasionnent d'importants changements dans les altérations des types de terreau formés comme, par exemple, les petites taches produites dans les tourbières par le travail des insectes et des lombrics. De plus, on remarque que l'humus de même caractère, déposé en des endroits différents, présente une certaine concordance avec la vie organique du lieu d'origine. Enfin, un témoignage important, surtout à l'égard du rôle joué par la vie animale, nous est fourni par ce fait que plus la vie animale décroît en abondance et en intensité, plus est limitée la division des restes organiques, jusqu'au point où, cette vie animale s'affaissant au minimum, les restes organiques demeurent, même très longtemps, pour ainsi dire sans changement, ainsi que cela se passe dans les couches de tourbe les plus puissantes et les plus tenaces. Sans doute, ici, le pouvoir diviseur des champignons et l'influence des autres facteurs de la dissociation est indéniable ; mais leur action est beaucoup plus lente que là où la vie animale leur vient en aide.

H. von Post a montré que les masses brunes d'origine organique, déposées dans les eaux, se présentent sous deux formes principales : le limon (*Schlamm*) « Dy » et la tourbe (*Torf*), sans compter beaucoup d'états intermédiaires. Le limon se compose surtout d'excréments d'animaux aquatiques, mélangés de débris de leurs corps morts ; la tourbe, par contre, est formée de restes végétaux encore intacts avec une petite quantité de résidus d'origine animale. Ces deux formations répondent exactement au terreau et à la tourbe, si bien que, d'un côté le terreau et le limon, de l'autre la tourbe de marais (*Moor Torf*) et la tourbe de sol sec doivent être considérées comme des formes naturelles d'humus.

Dépôts organiques de couleur brune.

	SOUS L'EAU.	SUR LES TERRAINS SECS.
Restes entiers de plantes avec quelques débris d'animaux.	Tourbe de marais (*Moor Torf*).	Tourbe des hauts plateaux (*Hochboden-Torf*).
Débris d'animaux prédominants	Limon (*Schlamm*).	Terreau proprement dit (*Eigentlicher Mull*). Terreau d'insectes (*Insektenmull*).

Tout en étant obligé d'admettre, en général, l'exactitude des idées émises par Post sur la constitution du terreau, nous sommes néanmoins conduit par nos observations à conclure que cette forme d'humus présente des différences beaucoup plus accentuées que celles qu'il signale. Ce que l'auteur en question désigne sous le nom de « terreau des bois feuillus » (*Laubholzmull*) correspond surtout à notre terreau d'insectes. C'est une matière dont la couleur va du brun foncé au noir brunâtre et qui se compose principalement des excréments des insectes herbivores; les deux analyses mentionnées donnent respectivement 15 et 61 p. 100 de matière organique, ce qui, en tout cas, concorde plus avec la composition de la tourbe en forme de terreau (*Mullartiger Torf*) qu'avec celle de tout autre type d'humus spécial à la forêt de hêtres. Par contre, un développement plus considérable de la vie animale, comme c'est le cas pour le terreau de vers de terre sur le sol frais, et une grande abondance de certaines espèces de champignons, coïncidant avec une limitation considérable du développement de la vie animale, peuvent, ainsi que nous l'avons vu, en présence d'une même végétation principale, donner naissance à des formes d'humus très différentes, lesquelles sont beaucoup plus éloignées les unes des autres que celles classées par Post sous le nom de terreau des bois résineux (*Nadelholzmull*), terreau des bois feuillus (*Laubholzmull*), terreau des champs (*Feldmull*), terreau des montagnes (*Bergmull*), etc.

Si l'on ajoute à cela que nous trouvons, sous une végétation de plantes de la famille des bruyères, en partie aussi dans les forêts d'épicéas, des formations d'humus tout à fait analogues aux deux formes principales constatées dans les forêts de hêtre, on sera sans doute porté à admettre la division fondamentale que nous avons adoptée pour les couches d'humus déposées sur les sols secs qui représentent, dans leur essence, une œuvre de division distincte de celle de la vie organique qui règne au-dessus d'elles.

Le *mélange des restes organiques* avec la terre minérale est la deuxième phase très apparente de la formation de l'humus. Cette phase s'accomplit suivant des modes très différents en présence d'une végétation principale identique. Le mélange en question est de la plus grande importance pour la fertilité de cette forme d'hu-

mus; ce ne sont pas seulement nos observations qui le montrent, mais c'est un fait généralement reconnu par tous les auteurs et l'existence du mélange est regardée comme l'un des meilleurs caractères des sols fertiles[1]. Le degré d'intimité et la constitution dudit mélange méritent donc, on le prévoit, une attention toute particulière. Senft s'exprime à ce sujet de la façon suivante : l'humus finement divisé vient-il à être mis en contact intime avec de l'argile mouillée, les deux substances adhèrent d'une façon si tenace l'une à l'autre, qu'une petite quantité d'humus s'unit à chaque particule d'argile, d'où il résulte un mélange noir qui, après une dessiccation lente, présente l'aspect d'une substance terreuse à grains fins, toujours humide et meuble, dans laquelle les particules d'humus peuvent persister pendant un grand nombre d'années. Un pareil mélange est le principal élément constitutif de ce que l'on appelle une terre d'humus (*Humuserde*)[2]. Cette manière dont un auteur estimé décrit le mélange des éléments du sol est certainement très correcte, mais comment ces corps, qui ont une si merveilleuse attraction l'un pour l'autre, viennent-ils en contact? Quelle est la cause du mélange? J'ai cherché en vain des explications dans la littérature actuelle. Il me semble que nos observations peuvent servir à nous donner certains indices précis à cet égard. Le mélange paraît présenter diverses formes et être dû principalement à trois causes, l'activité des animaux, la désagrégation mécanique par l'eau et les transformations chimiques jointes au pouvoir dissolvant de l'eau.

Le développement de la vie animale dans la croûte terrestre amènera nécessairement, en raison des tendances qu'ont les animaux à s'agiter en tous sens et à creuser le sol, un mélange des résidus organiques avec la terre minérale. Les insectes qui percent des tunnels, les larves frétillantes (*wühlende*), les mille-pieds, les arachnides, les landisopodes, etc., produiront toujours, conjointement avec les eaux des pluies et avec le vent, une désagrégation des particules superficielles et occasionneront aussi par là un mélange des détritus organiques

1. Voir, par exemple : Orth, *Geognostisch agronomische Kartierung.* Berlin, 1875, p. 29.

2. Senft, *Humus, Marsch, Torf- und Limonitbildungen,* Leipzig, 1862, p. 21. — *Steinschutt und Erdboden,* 1867, p. 307.

et de la terre minérale. Toutes les formations de tourbe, depuis les plus compactes jusqu'à celles qui sont parfaitement poreuses et sans consistance, fournissent par leur teneur en sable et en argile des preuves de cette activité ; mais elles témoignent en même temps qu'elle a des limites. D'après mes observations, il faut, dans la forêt de hêtre, l'intervention d'un élément plus actif pour que le mélange devienne un véritable terreau, et ce sont les vers de terre qui paraissent appelés à ce rôle.

On pourrait être tenté de conclure, de ce qui a été dit plus haut sur le genre de vie de ces animaux, sur leur grand nombre, sur la concordance qui existe entre la structure de la couche la plus superficielle, remaniée en dernier lieu, avec la constitution de tout l'ensemble du sol végétal, que toute la partie de la croûte terrestre qui se trouve au-dessus du sous-sol a passé par les intestins de ces annélides, quoique, toutefois, beaucoup d'autres êtres ont dû aussi prendre part à l'œuvre de division. Les renseignements donnés par d'autres auteurs sur les mœurs des lombrics, notamment de ceux de la grande espèce, conduisent à la manière de voir susénoncée. Ainsi, Hensen[1] a montré que le grand lombric est seul en état de transformer en un terreau noir-brun la couche supérieure d'une masse de sable presque pur enfermée dans un pot à fleurs, lorsque le sable a été recouvert de feuilles et de détritus végétaux analogues pouvant servir d'aliments au ver. Darwin[2] et un autre auteur anglais[3] ont montré qu'une couche de décombres ou de charbon et de cendres, étendue à la surface du sol, peut se trouver, au bout de 10 à 20 ans, à deux pieds ($0^{m},627$) de profondeur, uniquement parce que l'emplacement a été recouvert peu à peu des excréments du grand lombric mélangés de terre. Ici, comme dans l'expérience de Hensen, toute la couche supérieure du sol a dû passer par le tube digestif des vers et le sol a été retourné de fond en comble par leur travail. De plus, tout le monde sait que le gravier disparaît souvent rapidement dans les allées des jardins ou dans les interstices des pavés, parce que les vers le recouvrent de

1. *Passim.*
2. Voyez Fogh, *Lütken og Warming, Tidsskr. for pop. Fremst. of Naturv.*, 1870.
3. Rev. H. C. Key, dans *Nature*, 1877, p. 28.

terreau. Enfin, on trouve dans la plupart des jardins ou encore sur les vieux prés, pour peu que le terrain soit frais, une telle quantité d'excréments du ver de terre (*Regenwurm*), disposés par petits tas, farcis de nervures de feuilles et autres matières analogues, avec des restes de vieux tas disposés entre les tas récents, qu'il est évident que la couche de terre superficielle est formée d'une façon presque exclusive des excréments de cet animal à divers degrés de décomposition. En face de l'exacte concordance de structure qui règne entre la couche de terreau et la partie du sol immédiatement sous-jacente, songeons aux résultats qu'un pareil travail peut produire s'il s'accomplit pendant des siècles au même endroit : nous arriverons alors à admettre que la merveilleuse opération de mélange, représentée par une terre véritablement substantielle, est due à l'activité des animaux dont il s'agit, et que, par conséquent, il en est ainsi également de la principale propriété de cette terre, de sa fertilité.

Mais ces observations ne peuvent que confirmer l'hypothèse que les multitudes de vers de terre existant dans le sol contribuent pour une très grande part à produire ce mélange, car, dans l'état actuel de nos connaissances, il n'est guère possible de mieux déterminer l'étendue de leur activité. Il y a pourtant deux faits que je n'ai pu mettre d'accord avec ceux que je viens de relater. Le premier se rapporte à la présence de diverses espèces de vers de terre. Le *Lumbricus terrestris* ne se trouve nullement dans toutes celles de nos forêts de hêtre dont le sol est recouvert de terreau ; il y a de vastes emplacements particulièrement riches en terreau, où on ne le rencontre pas. Par contre, le petit lombric du hêtre et les petites espèces du genre *Enchytreus* ne paraissent jamais manquer là où il y a du terreau ; mais leurs procédés sont très différents de ceux de la grande espèce et il est à peine croyable qu'ils coopèrent avec la même efficacité à l'œuvre de mélange, bien que leurs excréments renferment aussi une quantité de terre notable. Le lombric ordinaire, qui avale des particules terreuses, apparaît également, çà et là, d'une façon assez capricieuse, au moins en ce qui concerne le nombre des individus. Nous voyons donc qu'un sol peuplé très diversement au point de vue de la nature des espèces de vers de

terre et du nombre des individus, peut donner naissance à des types de terreau ayant tous en apparence la même constitution ; on a dès lors de la peine à se rendre un compte plus exact de la mesure dans laquelle le travail de ces animaux contribue à la formation du terreau dans les forêts de hêtre.

A cela s'ajoute une seconde observation qui rend la chose encore moins claire. Si, comme le font supposer les travaux de Hensen, Darwin et autres, le terreau se compose en réalité de déjections de vers de terre, on ne voit pas trop d'où proviennent, dans les couches formées seulement par le genre *Lumbricus,* les pierres et les gros cailloux qui s'y trouvent, et qui, bien que moins abondants que dans le sous-sol, ne font pas défaut dans la partie travaillée de la croûte terrestre. Aussi longtemps que les mœurs des petits vers de terre n'auront pas été étudiées de plus près, il faudra se contenter de déclarer qu'ils se livrent, dans le terreau, à un travail de mélange très important, sans pouvoir fixer plus nettement la part qui revient à leur activité. Cependant ces objections ne sauraient guère affaiblir l'impression causée par le rôle grandiose des vers de terre, si l'on se rappelle que j'ai toujours trouvé de ces animaux dans le terreau, jamais dans la tourbe, et si l'on compare la structure des couches de terreau avec les excréments des vers de terre.

Dans un sol poreux, le pouvoir qu'a l'eau de désagréger mécaniquement les particules les plus fines, contribue aussi beaucoup à mélanger les éléments de la croûte terrestre. La manifestation la plus claire et la plus simple de ce phénomène résulte de ce fait que la quantité d'argile augmente avec la profondeur du sol ; c'est là une constatation qui ne découle pas seulement des analyses mécaniques de Tuxen (tableaux I et II), mais qui est aussi parfaitement vérifiée par les recherches d'autres savants et par les travaux de Johnstrup [1], en Danemark, de Girard [2] et de Orth [3], en Allemagne. Il n'y a guère à douter que nous ayons affaire ici à un véritable limonage de l'argile

1. *Om Fuglighedens Bevägelse i den naturlige Jordbund* (*Kgl. D. Nidensk. Selsk. Skr. V. R.,* t. VII, p. 413, 447.

2. *Die norddeutsche Ebene* (*la Plaine de l'Allemagne du Nord*). Berlin, 1855, p. 98.

3. *Passim,* p. 15 et suiv.

et aussi la pauvreté relative des couches supérieures a été démontrée par les auteurs dont on vient de parler[1].

Qu'il y ait dans le sol une décomposition analogue des plus petites particules poussiéreuses du terreau, c'est une chose très vraisemblable en soi, mais elle ne s'établit pas évidemment à l'aide de chiffres aussi probants que ceux qui résultent des analyses mécaniques en ce qui concerne le limon. Cependant les couches du sol que nous avons examinées nous fournissent le moyen de prouver directement que l'eau facilite ce genre de décomposition des particules d'humus. C'est ainsi qu'en maint endroit, aussi bien dans les landes de bruyères que dans les forêts de hêtre, nous voyons la couleur noire de la tourbe ne pas se séparer nettement de la couleur blanche du sable plombifère ; sous la tourbe proprement dite se trouve un sable extrêmement noir qui, au fur et à mesure qu'on descend, devient toujours plus clair jusqu'à ce qu'enfin il se soit transformé, insensiblement en sable plombifère blanc.

Cette échelle de couleurs n'embrasse souvent, là où elle se présente, que 1 ou 2 pouces d'épaisseur ($0^m,026$ à $0^m,052$) ; mais, quelquefois, elle descend plus profondément et donne à toute l'assise de sable plombifère une couleur noir gris. Ce fait se produit surtout dans les terrains bas et dans les dépressions grandes et petites où l'eau superficielle s'écoule de préférence. De l'analyse microscopique, il ressort que ce sable noir-gris doit sa couleur principalement à sa teneur en nombreuses petites particules des fibres végétales les plus délicates et à la substance appelée charbon d'humus (*Humuskohle*), qui s'y trouve sous forme d'une poudre plus ou moins fine, déposée en couches au milieu du sable assez pur. Ce phénomène est donc tout différent du mode de dépôt des matières humiques dans la terre rouge.

La couleur noire de la couche située immédiatement au-dessous de la tourbe et la diminution très rapide du nombre de particules d'humus, au fur et à mesure que la profondeur augmente, rendent très vraisemblable l'hypothèse que la terre sableuse a servi de filtre

---

1. La propriété qu'a l'eau de limoner et d'opérer des désagrégations mécaniques paraît être le seul facteur auquel Senft attache de l'importance au point de vue du mélange (*Steinschutt und Erdboden, etc.* [*Éboulis de pierres et sol proprement dit*], p. 321).

pour retenir d'une façon régulière les corps solides entraînés par l'eau de pluie dans sa descente vers les profondeurs du sol. La différence de finesse du sable est sans doute cause que ce dépôt, opéré par la descente de l'eau (*Herabspülung*), peut s'étendre à une profondeur variable; mais il semble pourtant qu'il ne puisse pénétrer profondément dans le sol, qui n'est pas tout à fait dépourvu d'argile et qui contient un peu de sable fin; ensuite, le plus souvent, la partie supérieure de la couche de sable plombifère, sur une épaisseur de quelques pouces seulement, retient de beaucoup la plus grande partie de ces particules entraînées, quoique tout le sable plombifère en contienne aussi des traces. On peut faire des observations tout à fait semblables sur le filtrage des particules d'humus, en examinant à la loupe les couches fermes, mais poreuses, qui se trouvent sous le terreau proprement dit et sous la tourbe produite par le travail des insectes. Le long des parois des petits canaux qui distinguent ces couches, un très grand nombre de ces petites particules ont été déposées par l'eau. Les différentes couches du sol, jouant le rôle de filtres vis-à-vis de l'eau qui y pénètre, retiennent à la partie supérieure de la croûte terrestre les restes organiques les plus fins qui, par suite, forment des couches spéciales pulvérulentes ou, en tout cas, des matières humiques très finement divisées, qui sont principalement déposées entre les grains de sable. Quand la finesse de la substance terreuse diminue, ces couches gris noir peuvent augmenter en puissance, mais sur un sol plus compact et plus ferme, la plus grande partie de ces particules d'humus est difficilement conduite par l'eau dans le sol à une profondeur de plusieurs pouces.

La couche d'humus, presque amorphe, qui se trouve dans la terre rouge, possède, comme on l'a indiqué plus haut, une tout autre structure. Elle ne consiste pas en corps définis nettement déposés entre les grains de sable, mais elle entoure chaque grain comme une enveloppe; mais, à la vérité, dans les sables très maigres (les dunes de sable des landes de Sonnerup et Aelling dans le Odsharde, île de Seeland), la matière humique recouvre les grains de sable d'une sorte de vernis brun[1]. Si nous considérons de nouveau un de

1. Voir ci-après les analyses de Tuxen.

nos profils découpés dans la tourbe de hêtre, nous trouvons donc en haut une couche, dans laquelle le fin lacis des racines de hêtre et le réseau encore infiniment plus délié du mycélium enlacent si solidement la masse de détritus que l'eau qui imprègne ceux-ci ne peut emporter avec elle dans les profondeurs du sol rien autre chose que les particules d'humus les plus ténues et celles des substances humiques solubles. Les premières sont arrêtées par le filtre que constitue la partie supérieure du sable plombifère ; au-dessous, ce sable est souvent blanc comme neige et, par conséquent, ne renferme qu'une quantité infime de restes organiques ; puis, vient la terre rouge avec sa teneur souvent très considérable en principes humiques. Si l'on compare cette répartition des couches, en relation, conjointement avec des conditions très différentes de structure et de dépôt dans la partie supérieure du sable plombifère, avec la terre rouge, la seule conclusion qu'on semble avoir le droit de formuler est la suivante : c'est que l'origine des strates est variable et qu'elles sont produites ici par une lixiviation de haut en bas (*Herabspülung*) et là par une précipitation d'une dissolution. Tout paraît me conduire à penser que la teneur de la terre rouge en humus résulte principalement de ce processus ; car, s'il est établi que la tourbe pourvoit le sol sous-jacent de substance organique et que l'eau est le véhicule de cette substance, il ne serait guère admissible que le véhicule en question, — le limonage étant, par hypothèse, le seul mode de décomposition, — pût arriver à remplir de particules d'humus la région supérieure de la terre minérale, n'en déposât presque plus immédiatement au-dessous et enfin abandonnât le reste dans une couche plus profonde [1].

S'il est donc possible de distinguer nettement, dans les couches du sol situées sous la tourbe, d'une part les résultats du pouvoir limonant de l'eau et, d'autre part, les effets de son aptitude à dissoudre et à former des dépôts, nous avons ici l'occasion d'étudier deux processus qui paraissent tous deux être, dans les sols dont il s'agit, des moyens de mélange très énergiques. On ne peut guère douter

1. Sur la teneur de la terre rouge en matière organique, voyez le chapitre intitulé : *Variété de la superficie du sol.*

que le mouvement des eaux dans les parties meubles immédiatement recouvertes par le terreau désagrège de la même manière les parcelles d'humus les plus fines. Mais que l'on compare la structure micrographique de la terre rouge avec celle des couches de terres meubles, colorées comme le terreau, qui se trouvent juste sous celui-ci, et l'on ne réussira guère, malgré le nombre de grossissements qu'on peut obtenir dans cette circonstance (environ 450), à découvrir entre elles une différence sensible. Aussi n'ai-je point cru devoir écarter l'hypothèse que le troisième facteur du mélange, la solution et la précipitation des combinaisons formées par l'acide humide, intervienne ici comme dans la terre rouge. Les différents auteurs parlent de la présence, dans les sols riches en terreau, de « substances incrustantes » : cela prouve qu'ils ont eu une intuition vague de quelque chose d'analogue. Il semble donc très plausible que, dans le phénomène de l'humification, il se forme continuellement des combinaisons solubles qui, tantôt à cause de l'affinité chimique entre les éléments, tantôt à cause des divers degrés de concentration du liquide dissolvant, sont souvent dans le cas d'être de nouveau précipitées.

Il est, d'après cela, très vraisemblable que, parmi les forces inertes (*leblos*) qui effectuent, dans le sol, le mélange des détritus organiques avec la terre minérale, celles qui ont agi dans la tourbe et son support ont été les mêmes que celles qui se sont manifestées dans le terreau et dans la couche de terre superficielle qui en dépend. Puisque, malgré cela, le mélange s'est opéré d'une façon très inégale dans les deux cas, cela doit donc être attribué à l'activité inégale déployée par le troisième facteur du mélange, le groupe des êtres animés. Il semble, dès lors, que deux des différences les plus remarquables et les plus significatives que présentent les formes d'humus, l'inégal degré de division des déchets végétaux et l'inégal degré de mélange de ces déchets avec la terre minérale, aient pour cause des différences dans les phénomènes de la vie organique dont les emplacements correspondants sont le théâtre.

La forme d'humus. — Si, maintenant, nous voulons préciser davantage ce qui paraît être la caractéristique de chacune des deux principales formes de dépôts humiques dans les forêts de hêtre, il

faudra parler de la manière dont s'accomplissent la division et la dissolution des restes organiques, de la façon dont ceux-ci se mélangent avec les éléments minéraux de la terre et des phénomènes chimiques qui sont propres à chaque type. Quant à ce dernier point, la présente recherche a dû se borner à découvrir un symptôme caractéristique de la nature de la transformation, à savoir la présence d'acides humiques libres, solubles dans l'eau ; nous n'avons pu étudier de plus près la série de réactions qui ont fourni ce résultat.

On pourrait peut-être baser là-dessus les diagnoses suivantes concernant les principaux types de dépôts d'humus observés dans les forêts de hêtre :

		Principalement produit de la vie animale dans le sol.	Principalement couche de terre végétale.
Ne renferme pas plus de 10 p. 100 de substance organique sans acides humiques libres et solubles, est bien mélangé avec la terre minérale, tant par le travail des animaux que par l'action de l'eau.	Parfaitement divisé, meuble, sans cohésion.	*Terreau proprement dit.*	*Echter Mull.*
Renferme 30 à 60 p. 100 de substance organique ; renferme aussi des *acides humiques* libres et solubles ; est mélangé avec la terre minérale d'une façon très imparfaite, à peu près uniquement par l'action de l'eau.	Parfaitement divisé, meuble, sans cohésion.	*Tourbe en forme de terreau.*	*Mullartiger Torf.*
	Imparfaitement divisé, ferme, tenace, cohérent.	*Tourbe proprement dite.*	*Echter Torf.*

Il est probable que la plupart des formes d'humus qui se sont déposées sur les terrains secs peuvent être ramenées à l'un de ces types principaux et que les nombreuses variétés et formes de passage qu'on observe doivent les particularités essentielles de leur structure aux emplacements où elles se trouvent, ainsi qu'à la flore et à la faune qui s'y rencontrent.

Des différences que présente la couche supérieure du sol.

Les couches supérieures du sol sous le terreau. — La couche de terre de 2 à 4 pouces d'épaisseur ($0^m,052$ à $0^m,1046$), foncée, grenue, qui se trouve tout à fait à la surface, est assez riche en principes inorganiques solubles dans des solutions étendues de sels acides. Il est vrai que nous n'avons qu'une seule série d'analyses

qui démontre ce fait (Profil I), mais, à première vue, c'est ainsi que les choses doivent se passer, vu que cette couche renferme une grande quantité de déchets organiques imparfaitement décomposés, si bien qu'on ne peut guère douter qu'elle soit généralement riche en principes nutritifs des plantes.

Ce qui est beaucoup plus étonnant, c'est que nous trouvions immédiatement sous cette couche la partie la plus pauvre du terreau des forêts de hêtre et que, à partir de là, — autant que nous pouvons tirer une conclusion des analyses, — les principes solubles augmentent en quantité au fur et à mesure qu'on descend plus profondément. Il n'y a que la chaux qui paraisse être un peu plus abondante dans la partie superficielle que dans la partie inférieure du sol.

Il se peut que la présence de ce corps dans les couches de terre les plus élevées doive être attribuée, en majeure partie, aux feuilles qui tombent tous les ans et qui, ainsi que cela a été montré dans un autre travail [1], peuvent être regardées presque comme un engrais calcaire. Le fait que la courbe s'élève vers la surface (Planche I) indique peut-être la source dont provient une partie de la chaux que renferme celle des couches supérieures du sol riches en terreau. Sans doute, les cas où le sous-sol est un peu plus riche en divers éléments que le sol superficiel ne font pas absolument défaut. Mais, tantôt ils ont été signalés dans des champs cultivés où les récoltes ont épuisé les couches supérieures du terrain, alors qu'en forêt la majeure partie des principes inorganiques que renfermait la végétation, retournent au sol par la chute des feuilles; tantôt la différence constatée ici est si extraordinairement grande qu'elle mérite à un haut degré d'attirer notre attention.

Nous avons vu que, dans les localités où nous avons fait des recherches, la quantité d'argile augmente assez régulièrement avec la profondeur; ensuite, lorsque nous avons comparé nos chiffres à ceux de Johnstrup, qui reposent sur une série de recherches beau-

---

1. *Ueber die Bedeutung des abgefallenen Laubes für den Reichthum des Bodens an Pflanzennahrung* (Tidsk. f. Skovbr., II). [*De l'Importance des feuilles tombées au point de vue de la richesse du sol en principes nutritifs des plantes.*]

coup plus complète, nous avons été obligé de considérer ce phénomène comme tout à fait normal; cela concorde, d'ailleurs, aussi avec les observations de Girard et d'Orth; enfin, nous n'avons pas de motif d'admettre que le fait pour lequel nous sommes en contradiction avec ces auteurs est dû à un limonage par l'eau [1]. Comme les sels solubles participent, en somme, au même transport que l'argile, il y a lieu de se demander si ce n'est pas également l'eau qui est cause de la pauvreté relative des couches supérieures du sol en composés solubles.

En ce qui concerne les deux corps dont le transport est le plus régulier, à savoir la chaux et le fer, cela ne fait aucun doute. C'est un phénomène connu de tout le monde, que l'eau chargée d'acide carbonique dépouille la couche supérieure du sol de la chaux qu'elle renfermait. Sans doute, les acides humiques retiennent la chaux, mais ces acides, en s'oxydant, en se transformant en acide carbonique dans les sols poreux et meubles, deviennent de nouveau solubles dans une eau chargée d'acide carbonique, et de nombreuses observations ont établi que la chaux est entraînée de cette façon hors des couches supérieures du sol. La même chose existe pour le fer [2]. Tantôt ce métal est lié si intimement à l'argile qu'il est entraîné en même temps qu'elle hors de la région superficielle; tantôt la décomposition des détritus organiques dans cette région provoque, comme on sait, la formation de carbonate d'oxydule de fer soluble, que la pluie entraîne en même temps que la chaux dans les parties profondes. Beaucoup plus irréguliers sont les transports de la potasse et de l'acide phosphorique; pourtant, l'on constate qu'ils suivent la même direction que l'argile, la chaux et le fer, bien que, d'après l'opinion généralement reçue, les premiers de ces corps doivent être retenus dans la croûte superficielle par le pouvoir absorbant de celle-ci. Nos recherches ne sont pas assez nombreuses et les notions qu'on possède sur le mouvement des éléments primordiaux dans ces sortes de sols riches en humus sont trop bornées pour qu'il

1. Orth semble, du reste, reporter une partie de ce *processus de limonage* (Ausschwemmungsprozess) à la fin de la période glaciaire et au soulèvement de la terre ferme. (*Geogr. agr. Kart.*, p. 15 et suiv.)

2. Comparez Orth, *passim*, notamment p. 10, 14 et 30.

nous soit permis de remplacer par des hypothèses les observations positives qui manquent pour expliquer ce phénomène. Je n'attirerai donc l'attention que sur deux moments d'où il semble résulter, qu'en fait, la même cause qui a éloigné la chaux et le fer des couches supérieures du sol a pu aussi contribuer à y diminuer la quantité de potasse et d'acide phosphorique. D'un autre côté, sans doute, on ne saurait nier que la consommation de principes nutritifs que font les bois en croissance doive être pour quelque chose dans cette diminution, mais ce facteur ne peut cependant pas exercer une action très sensible sur le mouvement desdits principes; car il est inadmissible que la végétation consomme d'une façon si régulière, en allant de haut en bas, le contenu de son magasin d'approvisionnement. Le premier des moments est celui-ci : les corps absorbants eux-mêmes, l'argile et l'oxyde de fer, existent, comme nous l'avons vu, en beaucoup moins grande quantité dans les couches superficielles, et les éléments de l'humus eux-mêmes n'ont pas le pouvoir de retenir la potasse et l'acide phosphorique[1]. Il est donc probable, — lors même que cela n'est pas positivement établi, — que ces substances s'accumulent en plus grande quantité dans les régions inférieures, plus riches en corps absorbants. Mais à cela s'ajoute un second moment, à savoir que le pouvoir absorbant est affaibli par la présence d'acides[2]; il n'est point du tout absolu et de l'eau acidulée, notamment, enlève toujours au sol quelque peu des principes dont on vient de parler.

Enfin, nos analyses montrent que le terreau des forêts de hêtre doit forcément renfermer plus de substances humiques acides que la terre arable, parce que le premier agit comme un corps neutre, tandis que la seconde a une réaction alcaline; il est donc aussi probable que le terreau du hêtre est plus exposé à être lavé par l'eau de pluie que la terre cultivée et c'est surtout le pouvoir absorbant de cette dernière qui a été l'objet de recherches.

L'idée que nous donnent les analyses sur la manière dont se com-

1. Knop, *Bonitierung der Ackererde*. Leipzig, 1871, p. 68. (*Bonification de la terre arable*.)

2. Knop, *passim*, p. 19. Comparez Forchhammer, *om Marsk, Dynd og Törv*. (Tidsskr. f. Landökon. III, R. XIII. Bd. 1865, p. 321.)

portent les combinaisons solubles inorganiques dans un bon sol forestier est toute différente de celle qu'on se fait d'habitude, et les recherches que nous avons relatées suffiraient pour appeler l'attention des chercheurs sur ces phénomènes. Ainsi on a regardé les couches de terres meubles, possédant souvent la même coloration que le terreau et couvertes chaque année par les déchets de la forêt, comme très riches en principes nutritifs pour les plantes : or, cette conception n'est exacte qu'en ce qui concerne la région tout à fait superficielle, de 3 à 4 pouces d'épaisseur (0^{m},078 à 0^{m},104), de coloration plus foncée que le reste, et qui renferme effectivement une grande partie des racines de hêtre et de végétaux constituant la couverture vivante du sol. Immédiatement au-dessous, le sol est relativement pauvre et sa richesse augmente au fur et à mesure qu'on descend.

La couche supérieure du sous-sol sous la tourbe. — Nos observations semblent pouvoir servir à jeter un peu de lumière sur les formations caractéristiques qui se produisent sous la tourbe et auxquelles on a accordé tant d'attention dans les landes et qu'on a expliquées de si différentes façons.

Quand on compare une coupe de terrain prise dans une forêt de hêtres où le sol est recouvert de terreau avec un autre profil prélevé également dans une forêt de hêtres, mais sous la tourbe, on s'aperçoit que, conformément aux explications que nous avons données, les différences ne paraissent pas être aussi grandes qu'on devait le penser de prime abord. La couche de tourbe correspond évidemment à la couverture meuble des feuilles mortes reliée à l'assise de 2 à 4 pouces d'épaisseur (0^{m},052 à 0^{m},1046), formée par des excréments et des détritus végétaux plus ou moins décomposés. Au-dessous, nous trouvons, dans les deux cas, une couche superficielle où les quantités d'argile, de fer, de chaux et quelquefois d'autres principes inorganiques augmentent avec la profondeur. Les traits fondamentaux sont donc les mêmes de part et d'autre : mais, sous le terreau, le tout est mélangé ensemble, tandis que, sous la tourbe, il y a des couches distinctes dans lesquelles les éléments de l'humus jouent, en outre, un rôle un peu différent ; enfin, la maigreur de la partie supérieure de la couche superficielle du sous-sol

du sable plombifère est plus grande sous la tourbe que sous le terreau.

On peut probablement caractériser la différence qui existe entre le sable plombifère et la partie de la couche superficielle du sous-sol qui lui correspond sous le terreau de la façon suivante : dans le sable plombifère, les matières incrustantes font jusqu'à un certain point défaut, tandis que, sous le terreau, elles sont abondamment représentées. Comme, d'après les idées généralement reçues, ces matières sont précisément les plus riches en principes assimilables par les plantes et qu'elles sont, pour une large part, le siège du pouvoir absorbant du sol, la différence énoncée, que le microscope nous montre d'une façon indubitable, acquiert nécessairement une importance majeure. On comprendra comment cette différence peut prendre naissance si l'on se représente les changements qui se produiraient dans les couches situées immédiatement sous le terreau, si celui-ci se transformait peu à peu en tourbe.

Lorsque l'activité en vertu de laquelle les animaux divisent et mélangent les éléments du sol est fortement entravée, les détritus organiques, aussi bien que tous les autres, restent gisants à la surface du sol. Il ne se formerait donc pas de sable plombifère, — et la constitution du terrain dans les landes de bruyères, sous les touffes de chêne, en témoigne, — aussi longtemps que la bruyère n'aurait pas apparu ; en effet, dans ces endroits, les déchets des plantes ne se décomposent qu'à la surface du sol, sans qu'il se forme ni tourbe ni sable plombifère. Mais les choses se passent tout autrement quand le mycélium et les racines des hêtres ou des bruyères transforment les détritus organiques en tourbe, c'est-à-dire en un feutre tenace et résistant. Le sol devient alors imperméable ; la fraction des détritus qui se trouve à la face inférieure de cette couche ne peut recevoir de l'atmosphère la somme d'oxygène nécessaire pour se décomposer ; il en est de même des acides humiques et de leurs combinaisons qui s'infiltrent avec l'eau de pluie et se changent en acide carbonique et carbonates ; les uns et les autres sont donc obligés d'emprunter de l'oxygène à ceux des composés inorganiques qui renferment la plus grande quantité de ce corps simple, notamment à l'oxyde de fer. Il se forme alors des sels d'oxydule de fer, facilement solubles,

qui sont entraînés par les pluies hors de la couche de terre superficielle, de sorte que celle-ci perd peu à peu sa couleur primordiale, due surtout à l'oxyde de fer. En même temps que l'hydrate d'oxyde de fer disparaît, cette couche, essentiellement maigre, perd une grande partie de son pouvoir absorbant; sur un sol sableux elle perd peut-être la majorité de ce pouvoir et les acides humiques, et les sels ammoniacaux que forment ces acides existant dans l'eau de pluie, qui doivent prendre naissance en grande quantité dans la tourbe[1] et qui possèdent un pouvoir merveilleux de dissoudre les autres sels et même les silicates[2], pourront sans difficulté dépouiller cette couche de sol de sa matière incrustante et l'épuiser. L'influence de l'eau chargée d'acide humique sur la couche superficielle du fond, aussi bien sous le terreau que sous la tourbe proprement dite, comme nous l'avons admis ici, concorde tout à fait avec le rôle que Forchhammer attribue aux acides humiques dans les tourbières. Il fait ressortir que la pauvreté du sol des landes en principes nutritifs des plantes provient de ce que ces substances sont extraites de la tourbe par l'action dissolvante de l'eau chargée d'acides humiques, qui a eu sur le sol une action voisine de celle produite par de l'acide chlorhydrique étendu[3]. Est-ce que la vieille routine, qu'on entend souvent professer par les cultivateurs, que le vieux sol forestier est « mort » et qu'il ne peut être amené à une certaine force de production que relativement lentement, ne devait peut-être pas reposer sur ce fait que la croûte superficielle de la terre a perdu, dans le cours des temps, par le lavage par l'eau chargée d'acide humique une partie de son capital primitif de substances nutritives des plantes? Nos considérations nous conduisent donc à admettre que les formations de sable plombifère doivent être attribuées essentiellement à la destruction particulière des restes organiques qui s'accomplit dans la couverture de tourbe, à l'exclusion de l'oxygène de l'air, conjointement avec l'action de l'eau.

---

1. Sur la teneur considérable des déchets en azote, voy. Schröder, *Recherches sur la teneur en azote des matériaux de bois et de la litière* (*Streu*), *etc.* (*Allg. Forst- und Jagd-Zeit.*, 1877, p. 221.)

2. Par exemple, Senft, *Humus*, etc., p. 29.

3. *Om Marsk, Dynd og Törv*, et *passim*, p. 321.

Cela nous conduirait trop loin, si nous voulions examiner point par point toutes les phases de nos observations, qui pourraient servir à éclairer la nature des formations de sable plombifère, mais je crois qu'elles trouvent leur explication complète dans la description précédente. Je veux seulement faire remarquer que la couche supérieure blanc gris du sous-sol (*Untergrund*) sous le terreau [1] ne doit pas être comptée comme faisant partie de la couche de sable plombifère, car la masse incrustante ne fait aucunement défaut ; mais une parenté plus éloignée avec cette formation paraît pourtant consister en sa pauvreté relative en oxyde de fer colorant, qui distingue les parties du sol qui entrent en relation par un accès incomplet de l'air avec les matières humiques avides d'oxygène. La fermeté que montre cette couche a une origine tout autre que la dureté propre assez fréquemment aux parties basses des formations plombifères ; ici la masse est compacte et doit sa cohésion à de petites quantités d'acide humique ; là, par suite du lavage par l'eau, elle est devenue poreuse et affermie par des particules d'argile réunies en paquets (*zusammengepackt*) [2].

La conception, exposée plus haut, de l'origine des formations de sable plombifère ne s'accorde pas d'ailleurs avec les rares observations faites sur ce sujet, qu'on trouve dans la littérature. L'influence de la destruction des restes organiques sur la transformation de l'oxyde de fer en sels d'oxydule, facilement solubles, qui peuvent être emportés par l'eau, est un processus si généralement reconnu et étudié de tant de côtés [3] que, pour la compréhension de la chose, nous ne pouvons avoir le moindre scrupule de l'adopter aussi ici. Senft, qui a contribué dans une si grande mesure à éclaircir la question de la formation particulière de *Ortstein*, n'a pas pensé, si je l'ai bien compris, à cette origine du sable plombifère. Il croit tout d'abord que l'acide tannique joue un rôle prépondérant dans ce processus [4], et comme il ne connaît que les dépôts existant sous les

1. Le seul auteur dans le travail duquel j'ai trouvé une mention de cette couche, est Orth (*passim*, p. 14).
2. Voyez ci-après les analyses de Tuxen.
3. Senft, *Humus*, etc., p. 195-203.
4. *Passim*, p. 193.

landes de bruyère, qui contiennent bien quelque peu d'acide tannique, sa supposition s'explique facilement. Mais, dans la forêt de hêtre, nous avons une végétation dont les déchets (*Abfall*) ne contiennent pas beaucoup d'acide tannique, si bien que l'on a peine à admettre que ce composé organique prend à un endroit quelconque la moindre part aux transformations qui s'opèrent dans la terre. Comme, de plus, beaucoup de circonstances semblent s'opposer à ce que cet acide très instable puisse être d'une importance considérable dans la tourbe de landes[1], je maintiens donc que, d'après nos observations faites sur les formations de sable plombifère dans les forêts de hêtres, il me paraît au plus haut point douteux que l'acide tannique, dans les transformations dont on a parlé, joue principalement un autre rôle que ce composé organique qui absorbe avec avidité l'oxygène et enfin produit, par sa combustion, de l'acide carbonique à d'autres endroits[2].

Senft explique l'origine des agrégats sableux limoneux (*limonitartige Sandaggregate*), qui sont vraisemblablement notre terre rouge, comme provenant de l'enlèvement par l'eau de l'hydrate d'oxyde de fer des grains de sable de la couche superficielle du sol et un dépôt de la combinaison de fer ainsi enlevé par lavage à une plus grande profondeur. Mais, en tout cas, il tombe sous le sens que cela ne peut expliquer l'origine des formations de sable plombifère représentées ici, car il n'y a aucune raison sérieuse d'admettre l'enlèvement du fer et son amenée dans les profondeurs par l'eau, à un plus fort degré dans le sol protégé par une couverture de tourbe, que dans les couches sous-jacentes d'une couverture faible de terreau.

Le seul auteur[3] qui, autant que mes connaissances me permettent de l'affirmer, ait décrit des formations de sable plombifère dans les forêts de hêtres, est Emeis, dont les communications à ce sujet[4] ont été publiées après que la présente recherche avait été commencée

---

1. Voyez ci-après les analyses de Tuxen.
2. *Passim,* p. 209.
3. Comparez, par exemple, Senft, *Passim,* p. 181.
4. Emeis, *Waldbauliche Forschungen und Betrachtungen* (*Recherches et remarques sur la sylviculture*). Berlin, 1875, p. 13.

et que j'avais eu l'occasion d'appeler l'attention d'autres sur ces formations.

Son livre intéressant, qui renferme une série de belles observations, donne cependant une explication des formations de sable plombifère qui ne concorde en aucune façon avec la mienne. Il semble qu'il n'admette aucune relation causative entre la formation de la tourbe et celle du sable plombifère. Il attribue la présence de la tourbe à quelques influences climatologiques assez obscures et il admet que le sable plombifère résulte d'une séparation de l'acide silicique des plantes. La destruction des restes de plantes peut à la vérité donner l'occasion d'une formation d'un peu de poudre silicée (*Kieselmehl*) insoluble; mais l'accord absolu entre les éléments minéralogiques et le degré de division de cette couche et de la couche du sous-sol montre que la couche de sable plombifère n'est pas du tout un pareil dépôt d'origine organique. Cela saute surtout aux yeux là où, en plusieurs places, dans le Jütland (Laven-Skov, Addit-Skov), le sol est mélangé fortement avec des sols riches en mica et de formation carbonifère; car ici le sable plombifère renferme ces éléments caractéristiques, aussi bien que la couche du sous-sol. De même, les couches d'argile colorées, qui se trouvent fréquemment sous le terreau, se transforment peu à peu en formations réelles de sable plombifère et doivent être considérées comme tout à fait analogues à celles-ci, contrairement à la partie la plus précise de l'explication donnée par Emeis.

Les présentes analyses de terre provoquent une étude comparative des recherches d'autres auteurs sur des formations de la même famille.

Un coup d'œil jeté sur le tableau II, ou un examen des analyses de Tuxen données plus bas, montre que cinq des échantillons de terre rouge sur lesquelles on a expérimenté, et qui provenaient des forêts de hêtres de Seeland, ne pouvaient en aucune façon être appelés agrégats d'oxyde de fer; il n'existe en aucune façon plus de fer dans cette couche qu'il ne doit s'en trouver là d'après la place qu'elle occupe dans le sol, dans lequel la quantité d'oxyde de fer augmente de la superficie vers le fond. Au contraire, les analyses montrent que ce qui donne à la couche sa couleur, ce sont des

acides humiques ou des humates qui cependant ne se trouvent pas là en quantité très considérable ; et une observation poursuivie du tableau II rend au plus haut point vraisemblable ce fait que les acides humiques sont ici réellement liés à l'alumine et les terres alcalines, chaux et magnésie, avec lesquelles ils donnent, de même qu'avec l'oxyde de fer, des sels insolubles dans l'eau ; car, ces corps n'existent dans la terre rouge qu'en quantité correspondante à celle des matières humiques. Ne pourrait-on pas admettre que, suivant la nature du sol, ce sera de l'oxyde de fer, de l'alumine ou des terres alcalines qui seront combinés dans la terre rouge aux acides humiques, si bien que le sol, qui contient une quantité suffisante de ces deux dernières bases, abandonne de préférence celles-ci aux acides humiques de la terre rouge, tandis que dans le sol particulièrement maigre, c'est l'oxyde de fer qui apparaîtrait comme base ? La couche renfermant en même temps des quantités plus grandes d'acides phosphorique et sulfurique, elle peut être avant tout considérée comme un phénomène d'absorption (*Absorptionserscheinung*) ; ces corps qui, en quantité assez considérable, doivent accompagner l'eau qui s'infiltre à travers le sol et qui proviennent bien des restes de plantes accumulés dans le terreau, peuvent être ici retenus par des combinaisons absorbantes existant en grande quantité. Dans la circonstance que les deux acides sont ici directement accumulés, nous voyons une démonstration plus complète de ce fait que la couche de sable plombifère sus-jacente a perdu soit la totalité, soit une partie de son pouvoir absorbant. On doit donc bien, d'après cela, admettre que la terre rouge doit en réalité ses caractères particuliers aux acides humiques et aux sels formés par ces acides.

Nos analyses n'ont trait qu'à des sols prélevés dans les forêts de hêtres de Seeland. Si l'on étudie les formations correspondantes dans les forêts de Silkeborg et du Jütland, il est évident, autant qu'on peut en juger sans analyse, que les combinaisons d'oxyde de fer jouent ici un bien plus grand rôle ; car, il n'est pas difficile de trouver tous les passages entre les couches de terre rouge qui ressemblent parfaitement aux couches de Seeland et de trouver des couches d'*Ortstein* bien distinctes, dans lesquelles l'hydrate

d'oxyde de fer et d'autres combinaisons du fer sont, sans aucun doute, tout à fait prédominantes. D'après cela, ne serait-il pas absolument juste de considérer réellement les couches de terre rouge dans leurs différentes formes, comme des dépôts d'acides humiques et d'humates provenant de la précipitation de dissolutions aqueuses, tandis que, d'après le caractère minéralogique du sol, il résulterait que la base consisterait principalement en humate d'oxyde de fer ou d'autres sels solubles de la même famille, formés par les acides humiques? En tout cas, il paraît de toute nécessité de classer ces formations avec la forme semblable riche en humus, que nous avons désignée sous le nom de tourbe (*Torf*). Le fait que les combinaisons d'acides humiques se déposent principalement là où nous trouvons la terre rouge, eût été peu difficile à expliquer par la conclusion donnée par Senft sur la nature de ces matières; mais, comme pourtant une base suffisante de recherches aurait manqué à de pareilles hypothèses, nous préférons en laisser l'explication à des recherches futures qui auront pour but immédiat d'éclaircir ces rapports.

Tandis que Senft, dans son travail souvent cité, semble attacher une importance principale à ce que le ciment (*Bindemittel*), dans les formations de terre rouge (*Ortstein*) et analogues, soit de l'oxyde de fer, Forchhammer soutient avec plus d'énergie que c'est de l'humate d'oxyde de fer [1]; mais les résultats auxquels nous sommes arrivés ont été confirmés principalement par les analyses de Schütze [2]. Il a analysé, par exemple, quatre échantillons différents de cette masse et trouvé qu'ils ne renfermaient pas plus d'oxyde de fer que le sol sableux ordinaire surtout, alors que les matières qui donnaient la cohérence à ces couches paraissaient être de nature humique. Mais pourtant, d'abord, les analyses communiquées ici, se rapportant non seulement à la terre rouge de divers endroits, mais aussi à la teneur en fer des couches supérieure et inférieure correspondantes, ont fourni, si je ne me trompe, la démonstration que ce ne sont pas les

1. Forchhammer, *Om Ahlformationen of Campinesandet* (*Overs. o. kgl. d. Vidensk. Selsk. Forh.* 1862, p. 156).

2. Schütze, *Die Zusammensetzung des Ortsteins* (*la Composition de l'Ortstein*) [Danckelmann, *Zeitsch. f. Forst- und Jagdw.* Bd. VI, 1874, p. 190].

sels de fer, mais bien les composés humiques qui sont la déterminante typique de ces formations.

C'est pour cela qu'il me semble avantageux, en opérant d'une façon tout autre que jusqu'à présent, de limiter les désignations employées pour ces couches qui, d'ailleurs, en réalité ne doivent pas être considérées comme essentiellement différentes, mais seulement comme des produits différents d'un phénomène d'origine tout à fait analogue, ce qui semble avoir été reconnu aussi par d'autres[1]. Cependant, cela pourrait donner lieu à des méprises, si l'on désignait les formes différentes de terre rouge et d'*Ortstein* seulement d'après leur teneur absolue en oxyde de fer, et il serait plus exact de prendre en considération la teneur en fer de cette couche en rapport avec le sous-sol, parce qu'on serait seulement par cela mis en état de reconnaître si réellement il y a eu une accumulation de ce ciment (*Bindemittel*).

Je propose, pour cela, d'employer la dénomination de terre rouge (*Rotherde*) pour les couches cimentées et colorées par des matières humiques ou des sels formés par ces acides, d'étendue plus ou moins grande, qui existent sous les couches de sable plombifère et de tourbe et ne contiennent pas plus de fer que le sous-sol situé immédiatement au-dessous.

Ortstein désignerait des couches analogues ou des formations en forme d'îles (*Inselförmig*) dans lesquelles l'amoncellement de l'hydrate d'oxyde de fer est plus grand que dans la terre environnante et dont la grande majorité (au moins plus de 50 p. 100 et, en général, 80 et 90 p. 100) consiste en sable et substances inorganiques analogues.

Enfin, par fer limoneux (*Raseneisenstein*), on désignerait, comme d'ordinaire, seulement ces agrégats de fer dont la masse principale est formée d'oxyde de fer.

Le fait que ces trois formes sont préjudiciables à la végétation à un degré extrêmement différent, doit apparaître clairement, quoique aussi bien la terre rouge que l'*Ortstein* puisse se présenter comme variétés fermes, sablonneuses, et sous forme de couches

1. Voyez, par exemple, Senft, *passim,* p. 210.

terreuses. Je ne sais pas si l'*Ortstein* est exclue des sols argileux, mais il ressort clairement des observations communiquées plus haut que des formations analogues à la terre rouge s'y rencontrent aussi. Aucune de ces formations n'est exclusivement liée à une végétation de bruyères, comme on l'admet d'ordinaire, relativement aux deux premiers, mais elles paraissent inséparables de pareils dépôts humiques, riches en acides humiques, qui prennent naissance là où des monceaux de restes de plantes, pour des causes les plus différentes, ont été détruits par un accès insuffisant de l'oxygène de l'air, tandis que les dépôts humiques plus meubles, bien aérés et bien mélangés, qui ne contiennent pas d'acide humique libre, sont accompagnés d'une couche superficielle du sous-sol (*Obergrund*) plus meuble et bien mélangée.

L'influence de la vie organique sur l'état du sol dans les forêts de hêtres.

Nous avons, en nous appuyant sur nos observations, établi une relation entre le développement particulier de la vie animale dans des conditions différentes avec le caractère changeant de la couverture humique du sol et pensé que nous pouvions observer dans celui-ci les causes des grandes inégalités dans l'état de la partie superficielle du sous-sol. Pourtant, il semble si surprenant qu'un changement relativement insignifiant dans le monde animal et végétal d'un sol, comme l'apparition ou la disparition de misérables sortes de vers de terre et le développement plus ou moins grand d'un tissu de champignons fin et microscopique, puisse transformer complètement l'état de toute la croûte terrestre jusqu'à une profondeur de plusieurs pieds[1] et, par cela, intervenir puissamment dans les conditions naturelles et économiques de la localité, qu'on est conduit à se poser la question suivante : Étant admis que les observations communiquées sont exactes et que les idées émises sur la simultanéité et la succession des différents phénomènes sont correctes, est-il, par suite, prouvé que les circonstances prises en particulier qui

1. Le pied = $0^m,31385$.

sont ainsi assemblées soient en rapport les unes avec les autres au point de vue de la cause et de l'effet? La simultanéité et la succession, dans l'existence de quelques phénomènes, ne sont conditionnées encore entre elles, comme on le sait, par aucune relation causale. L'auteur est parfaitement convaincu qu'une série beaucoup plus étendue de recherches est nécessaire pour établir, sur la base d'une démonstration complète, la relation causale entre les conditions décrites, mais il croit pourtant qu'un examen soigneux des observations communiquées confirmera sa façon de penser. On doit cependant tenir compte du point de départ de notre série de conclusions, qui doit d'abord avoir pour point de départ les hypothèses faites. Quand nous avons fait remarquer que le terreau porte en réalité l'empreinte du travail exécuté par les vers de terre et que la tourbe est particulièrement caractérisée par les éléments de cimentation qui produisent la cohésion : les racines de hêtre et le mycélium, nous n'avons donné alors aucune explication sur la façon dont ces deux facteurs ont pris naissance, chacun à sa place. Si, de plus, il faut aussi admettre que les conditions d'humidité de l'emplacement ont une influence sur le développement des deux types d'humus, nous ne savons cependant pas encore du tout si la grande sécheresse ou l'humidité arrête dans une proportion considérable le développement du tissu clair de mycélium qui est vraisemblablement un aliment pour les vers de terre, ou favorise le développement des fils de cladospores cornés indigestes, ou bien enfin chasse directement les vers de terre. Nos observations ont débuté par l'étude des rapports de structure du sol et, tout de suite après, nous pouvons commencer à tirer des conclusions. En ce qui concerne les points déterminants de la forme particulière de la vie organique, nous ne possédons que de faibles indications pour l'explication de son existence. En dehors des conditions d'humidité du sol, il est possible qu'il y ait dans les emplacements d'autres caractères, sur lesquels nos observations ne nous ont donné aucun éclaircissement, mais qui peuvent intervenir d'une façon importante.

Il est pour ainsi dire vraisemblable que les caractères de la faune et de la flore qui s'accusent dans le sol doivent être considérés seulement comme l'expression d'un état de caractère compliqué et avec

une série variée d'hypothèses comme on peut les embrasser ; qu'elles sont à considérer comme une expression qui, dans le cas le plus heureux, peut livrer un des moments principaux. Car ici, comme partout dans la nature vivante, un phénomène est extrêmement rarement la suite simple d'une cause unique. Les causes et les effets s'enchaînent les uns aux autres en une série si brusque et à changements si variés que celui qui poursuit des recherches doit, même avec le plus riche matériel, se contenter d'indiquer uniquement, au milieu de cette diversité confuse des phénomènes, les liens qui existent entre les causes les plus puissantes et leurs effets.

Si, avec cette restriction, nous formulons nos observations et nos conclusions dans la proposition suivante « que le développement différent de la vie organique est une des causes principales des différences dessinées dans le sol de la forêt de hêtres », je crois que les recherches poursuivies confirmeront nos conclusions.

Nous pouvons exprimer simplement les différents états décrits du sol forestier en les qualifiant d'état différent de travail (*Bearbeitung*). Le sol de terreau de la forêt de hêtres représente un sol entièrement travaillé jusqu'à une profondeur de 2 à 5 pieds ($0^m,6277$ à $1^m,569$), aucune activité pratique de l'homme ne pouvant obtenir, sous ce rapport, un meilleur résultat. La tourbe en forme de terreau (*mullartiger Torf*) a un sol dont, seule, la couche tout à fait superficielle est travaillée, si bien qu'elle permet l'entrée de l'air et offre une habitation agréable aux racines des végétaux. Enfin, la tourbe bien dessinée forme un sol entièrement inculte (non travaillé, *unbearbeitet*), où l'accès de l'air est impossible et où les racines des plantes ne peuvent se développer que difficilement dans la profondeur. Ces gradations correspondent tout à fait au développement de la forêt sur les différentes formes d'humus, en ce sens que la végétation forestière atteint sa plus grande plénitude et sa plus grande force sur un sol complètement travaillé, alors qu'elle dépérit sur un sol non travaillé et ne peut pas se régénérer elle-même. Le degré de travail des formes d'humus a donc une influence puissante sur la végétation.

De la signification de la forme de l'humus au point de vue de la géographie végétale.

Autrefois, on a soutenu avec plus de force que maintenant, à ce qu'il paraît, que le caractère chimique du sol, c'est-à-dire les éléments les plus essentiels à la nutrition des plantes, était le facteur qui répartissait les plantes dans le terrain, à l'intérieur de la zone de végétation. Tandis que cette manière de voir a été confirmée, à la vérité sur des points particuliers, par des recherches récentes[1], la prétendue grande importance de ce facteur est affaiblie sur d'autres points, mais, en tout cas, une autre cause plus puissante de la répartition, je veux dire la vie commune (*Zusammenleben*) des organismes qui apparaît dans chaque localité, s'accuse plus fortement. Pourtant, ce ne sont pas seulement, en aucune façon, des groupes de ces organismes que les forestiers ont l'occasion d'observer principalement sur les arbres de la forêt qui, par leur rivalité respective, par leur lutte pour la vie, contribuent d'une façon merveilleuse à la division du sol; mais aussi, les organismes des groupes les plus différents agissent également, les uns au milieu des autres, sur l'état du sol et limitent leur développement réciproque. Le fait que les insectes phytophages peuvent contribuer à limiter le développement d'un végétal doit paraître évident à ceux, qui ont eu l'occasion d'apprendre la condition des insectes qu'on trouve en masse avec les plantes qui leur servent d'aliment. Mais il s'ajoute encore à cela un fait auquel jusqu'ici on n'a attaché que rarement l'attention, à savoir que les organismes les plus différents peuvent rendre le sol moins habitable pour certaines espèces et favoriser le développement d'autres. Le changement merveilleux, mentionné plus haut, des plantes (*Wechsel*) herbacées dans les places éclairées de nos forêts, est sans doute un phénomène de ce genre; mais, ici, ce n'est pas seulement encore une plante phanérogame qui prépare le terrain à une autre. Plus étonnants, au contraire, sont les cas où certaines faunes et flores

1. Voyez, par exemple, Fliche et Grandeau, *De l'Influence de la composition chimique du sol sur la végétation du pin maritime.* (Bertin, *Ann. de chim. et de phys.*, série IV, t. XXIX, 1873, p. 383.)

se conditionnent réciproquement. Ainsi, on a indiqué une végétation particulière sur les tas de taupes et de fourmis[1] et Grove[2] a fait remarquer à ce propos à quel point une vie animale particulière augmente la fertilité des sols marécageux (*Marsch*) et dans des conditions telles que le défaut de vie animale liée au développement d'une conferve (algue) paraît être la cause de l'infertilité de certains emplacements (dans les régions marécageuses du Danemark appelées *Sturt*). Nos études sur la tourbe et le terreau ajouteront enfin un nouveau chapitre à la série antérieure des observations de ce genre.

Si les recherches ultérieures devaient confirmer l'opinion à laquelle nos observations nous ont conduit, à savoir que le développement puissant ou la disparition d'une faune terrestre particulière est une cause essentielle de la formation du terreau et de la tourbe, il en résultera un facteur auxiliaire pour la répartition des espèces végétales dans le terrain, qui prend une part aux changements si évidents dans la flore de la localité que nous pouvons dire qu'elle contribue en outre à donner son caractère à notre province et intervient, au point de vue économique, dans une grande proportion.

Déjà la forme du terreau (*Mullform*) agit, comme nous l'avons dit plus haut, sur la végétation du sol et, à la vérité, à un tel degré que dans des étendues entières du pays, les plantes font défaut et, dans d'autres, se développent en une masse extrêmement grande. Ainsi l'on peut traverser en voyageant de grandes étendues de forêts dans le Jütland central, sans trouver les plantes caractéristiques du terreau de hêtres, et le professeur (*Dozent*) Rostrup m'a communiqué que dans les forêts de Lolland et de la partie sud-ouest de la Fionie, dont il connaît parfaitement la flore, il n'existe sur ce sol ni terreau de hêtres, ni les plantes *Trientalis*, airelle-myrtille, ni les calus (*Schwiele*).

Mais ces plantes peu apparentes ne peuvent donner leur caractère à une partie du pays qu'aux yeux d'un botaniste. Leur effet est plus

1. Bischenau, *Die Flora der Maulwurfshaufen* (*la Flore des tas de taupes*). (Nobbe, *Landwirthsch. Versuchstat.*, t. XIV, 1876, p. 176.)

2. *Om Törlägning og Kultivering af Havbugter og Söer* (J. C. la Cour, *Tidsskr. f. Landök*, IV. R. III. Bd, 1869., p. 22 et suiv.)

grand, quand même les arbres de forêt y contribuent, et on ne peut pas douter que c'est le cas quand on visite les forêts sur les crêtes élevées du Jütland. Là, la tourbe recouvre de longues étendues et le hêtre se refuse, comme sur le terreau, à toute régénération. Les lisières des forêts montrent comme la végétation arbustive est repoussée vers l'Ouest et comme la bruyère herbacée la pousse en avant vers cette direction; mais, cela n'arriverait certainement pas si la jeune forêt, là où les vieux arbres ont disparu, avait pu grandir rapidement, ou si le sol s'était recouvert d'une autre végétation, qui aurait pu soutenir la lutte avec la bruyère. La forêt de hêtres elle-même a préparé la lande par sa formation de tourbe ou c'est plutôt le caractère le plus essentiel de cette formation qui se développe dans et par la forêt de hêtres, et la végétation prépondérante change seulement, quand la bruyère prend la place des hêtres, sur la nouvelle formation de sol de bruyère. Ainsi, les conditions d'évolution de la tourbe acquièrent une grande importance pour le caractère d'une région, d'une province, au point de vue de l'histoire naturelle et de l'économie.

Mais, comment peut-on expliquer que nous trouvions des formations de tourbe dans beaucoup de nos forêts et que celles-ci, au moins en plusieurs places dans le Jütland et en quelques endroits dans la partie nord de Seeland, pourraient être remplacées sans aucun doute par des landes de bruyères, si la nature reste abandonnée à elle-même? Mais où sont les landes qui auraient hérité le terrain de la forêt de hêtres? Car on ne doit pas, d'accord avec Emeis, admettre en toute sûreté que nos conditions climatériques ont éprouvé des changements fondamentaux dans ces derniers temps. Les grandes étendues de landes jütlandaises n'ont presque jamais porté de forêts de hêtres. Toutes les observations témoignent de ce fait que les forêts de chênes de la même sorte que celle qui est près *Hald,* aux places où la forêt a existé principalement, ont été les prédécesseurs immédiats de la lande.

Sans doute, une partie des landes montueuses a remplacé les hêtres sur les crêtes montagneuses du Jütland, mais il ne s'agit guère ici de grandes étendues et çà et là on peut encore trouver des traces de celles-ci, sous forme de végétation rabougrie. Le fait que

cela n'existe pas en grande masse doit être dû à ce que l'ensemble est un phénomène relativement nouveau.

Il me semble que la conclusion ne peut se formuler autrement, si l'hypothèse est exacte, que par ce fait que le hêtre ne peut pas se régénérer naturellement sur le sol de tourbe et cela pourra être confirmé avec certitude par tout forestier. La formation de tourbe ne peut donc, d'après cela, être plus ancienne que la vieille forêt, dont elle recouvre le sol. Il serait pourtant étonnant que la formation de tourbe dans les forêts de hêtres soit seulement le produit des derniers siècles et nous sommes, par suite, conduits à nous demander si ce n'est pas la végétation qui forme la tourbe à de telles places, c'est-à-dire la forêt de hêtres elle-même, qui devait faire souche à une époque relativement ancienne.

Il est bien possible que des déboisements imprévoyants, des incendies ou d'autres circonstances analogues qui ont contribué au dépouillement du sol sont des causes qui ont contribué en même temps au développement de la tourbe; mais, pourtant, il est à peine vraisemblable que de telles conditions aient pu produire des dépôts semblables sur de grandes étendues et sur des places où l'on ne trouve guère de forts déboisements, comme, par exemple, au cœur de Gribsskov, à la limite du quatrième et cinquième district forestier de Kronborg.

Il est au plus haut degré vraisemblable que la végétation des hêtres à de telles places se maintienne seulement peut-être pendant un petit nombre de générations ou même une seule, comme forêt de hêtres d'essence pure, avant qu'elle succombe.

Le fait que le hêtre, dans ces étendues de forêts, est un arbre relativement jeune démontre qu'il ne se trouve pas d'ordinaire dans nos terrains marécageux boisés, dont la formation était certainement déjà terminée avant l'immigration du hêtre. Mais les conclusions auxquelles nos études sur la tourbe nous ont conduit seront, plus loin, confirmées par des dessins habiles, si l'on compare ceux-ci avec les conditions de croissance du hêtre et de son rival le chêne. Il ressort aussi, avec la plus grande certitude, des excellentes recherches de Vaupell[1] que la plus grande partie des forêts de hêtres

1. *De danske Skove, Kjöbenhavn,* 1863, p. 285-292.

de pure essence sur les sables d'alluvion (*Geschiebesand*) du Jütland central, — auxquels le forestier consacre maintenant tout son art et pour lesquels il emploie des capitaux importants, pour atténuer la transformation de la tourbe en lande, — était encore seulement deux siècles auparavant si fortement mélangée de chênes que Christian IV en tirait un matériel important pour la construction de ses flottes, et un sommier des produits (*Abnutzungsregister*) de l'année 1645, cité par Vaupell, montre que les Suédois, à la fin de la guerre d'alors, se faisaient livrer plusieurs milliers de chênes comme bois de constructions navales, provenant des forêts des environs de Silkeborg. Maintenant, dans la plupart de ces forêts, il existe à peine quelques chênes isolés et la description spéciale du Département des Forêts du district forestier de Silkeborg[1], dont les conclusions portent sur cinquante années, ne fait mention que d'un seul peuplement de chênes d'une étendue d'un quart d'hectare sur un district forestier de plus de 2,800 hectares. Il a été établi par les recherches classiques de Vaupell et admis par chaque praticien forestier comme un fait certain, que le chêne et le hêtre ne peuvent vivre longtemps en alliance fraternelle, surtout sur un sol sec, chaud et sableux; la nature des forêts, telle qu'elle était au XVIIe siècle, ne peut, pour cette raison, avoir été en état de longue durée et Vaupell proclame sûrement, avec pleine raison, l'extension plus grande du hêtre dans ces régions seulement deux siècles auparavant. Au moment actuel, c'est-à-dire deux cents ans plus tard, le chêne a disparu et les forêts de formation naturelle consistent exclusivement en hêtres; car la superficie du sol, par l'influence du hêtre, — ce qui ressort du caractère de la tourbe de hêtres, — a subi un changement tel que le terrain doit nécessairement se transformer en lande. De plus, nous avons vu que la bruyère herbacée sur ce sol maigre et sec transforme la superficie tout à fait de la même façon que le hêtre, et là où, par suite d'un déboisement maladroit ou d'autres conditions, le sol s'est trouvé dépouillé, la bruyère herbacée pouvait immigrer dans les anciennes forêts de chênes, elle a petit à petit supplanté celles-ci, empêché la

1. Voir Lütken, *Statsstik Beskrivelse af de danske Statsskove,* 1870, p. 240-246.

régénération et accaparé le terrain pour le transformer en de longues étendues de landes.

Ces observations nous conduisent à la conclusion que l'immigration de la bruyère herbacée et du hêtre dans les vieilles forêts de chênes, sur le sable d'alluvion sec a eu le même résultat, c'est-à-dire la formation de landes. A l'un de ces endroits, le hêtre a été un intermédiaire entre le chêne et la végétation éricacée (*Haidekraut-vegetation*), à l'autre, cette dernière a apparu sans préparation. Sur un grand nombre d'étendues de sols secs et sableux, l'immigration du hêtre a donc précédé la disparition de la végétation forestière et cette puissante altération dans la nature de notre pays s'est accomplie, en plusieurs endroits, sur des étendues extrêmement considérables en moins de cinq siècles. Mais cette conclusion nous conduit en même temps à faire remarquer que l'on doit se garder de chercher la cause de pareils phénomènes naturels dans un seul facteur, comme on y est si souvent enclin. Le fait isolé, simple, la disparition de la forêt, semble être le résultat d'un concours confus et embrouillé d'une grande série de facteurs. Car la nature du sol, le vent et la température, qui influent aussi bien sur la superficie du sol que directement sur la végétation, l'action de l'eau de pluie sur le sol, la destruction mécanique des particules de ce dernier et les transformations chimiques dans le sol, influencées aussi bien par la vie de la grande végétation forestière que par la flore des champignons microscopiques et par la vie animale peu apparente et cachée dans le sol; toutes ces forces hétérogènes ont, dans leur coopération compliquée, contribué à la production de ce phénomène que nous observons et, qui lui aussi, n'est qu'une phase (*Glied*) dans de nouvelles altérations et transformations.

Mais enfin il résulte de là que beaucoup de conditions différentes peuvent intervenir pour troubler la rapidité et la régularité du développement de ces phénomènes. Les proportions de mélange dù sol, qui peuvent contribuer à un plus ou moins grand degré à conserver au sol sa fraîcheur, l'inclinaison du terrain, la distance des eaux souterraines, le traitement de la forêt, etc., tous ces moments peuvent ne pas agir seulement sur la faune et sur la flore visibles, mais aussi sur la faune et la flore cachées et, par cela, contribuer à un déve-

loppement plus ou moins rapide des phénomènes observés, à l'accroissement de leur extension ou à la limitation de leur apparition ; par suite, un devoir important s'impose au forestier, qui doit étudier les moindres points de l'histoire naturelle de la forêt avec attention et intérêt.

Si, enfin, nous retournons au point de départ de notre travail, à l'observation que le hêtre, dans les sortes de sols les plus différents, c'est-à-dire aussi bien sur les formations de grès que sur les sols calcaires, dans les grandes étendues de forêts de l'étranger, montre tantôt un développement puissant, tantôt une croissance mauvaise et rabougrie, sans qu'il soit possible de trouver la cause de ces différences dans les facteurs auxquels le forestier a d'ordinaire recours, pour expliquer de telles conditions, notamment le climat et la composition chimique du sol, les recherches dont nous avons parlé sur la nature des formations d'humus et les observations faites dans nos propres forêts tendent, avec la plus grande vraisemblance, à démontrer que les différences proviennent, pour une grande part, des autres habitants plus cachés dans le sol, qui peuvent préparer à la végétation forestière, aussi bien sur le grès que sur la pierre calcaire, un sol parfaitement travaillé et aéré ou un sol insuffisant et travaillé seulement à la superficie, ou bien enfin le laissent tout à fait ferme et non travaillé.

Sur la terre de champ et de forêt.

Personne ne met plus en doute qu'un sol fertile devrait renfermer les substances inorganiques indispensables pour une végétation puissante sous une forme accessible aux plantes et cette hypothèse de la fertilité est, cela va sans dire, valable aussi bien pour la sylviculture que pour l'agriculture. Seulement la science des engrais, en agriculture, basée sur ce principe, est pourtant, dans sa signification pratique, réellement limitée à la connaissance de l'état physique du sol. Mais cette limitation doit être encore beaucoup plus restreinte en sylviculture qu'en agriculture ; car un nouveau moment très influent, le degré différent de travail naturel, intervient. Les nouvelles contributions apportées à la théorie de la sylviculture par les tra-

vaux publiés dans ces dix dernières années par Ebermayer, Schütze, Schröder et d'autres auteurs, ont été essentiellement des recherches faites en vue de créer la science des engrais (*Düngerlehre*) en sylviculture, ainsi que je l'ai mis en évidence dans une publication antérieure; seulement, dans l'emploi des procédés acquis par ces expériences, on ne doit pas, à mon avis, oublier des parties beaucoup plus importantes de la théorie de la sylviculture, particulièrement l'influence exercée par la différence dans les caractères physiques du sol sur la croissance de la forêt. La différence entre la théorie de l'agriculture et de la sylviculture qui provient du degré différent, auquel est limitée la science des engrais pour les deux par la connaissance de l'influence exercée par l'état physique du sol sur sa fertilité, peut être définie clairement de la façon la plus facile par un court exposé de la signification, que les études récentes sur la terre du champ attribuent à la nature physique du terrain et en recherchant si les limitations que le domaine de la science des engrais proprement dite subit, par ce fait, sont applicables aussi à la théorie de la sylviculture.

D'après cela, il paraîtra tout d'abord évident que les propriétés physiques de la croûte terrestre, qu'on pourrait plus brièvement appeler principes de Schübler (*Schüblersche*), parce que cet auteur, par ses recherches célèbres, a le premier posé les fondements de cette connaissance, doivent avoir été influencées au plus haut degré par la forme d'humus. La porosité de la croûte terrestre, son poids spécifique, son pouvoir d'absorber l'humidité de l'air, sa *capacité hygroscopique* (*wasserhaltende Kraft*), sa capacité d'échauffement, etc., doivent être au plus haut point différents sur le terreau et sur la tourbe. Notre connaissance de la signification de ces conditions pour la végétation est cependant encore si restreinte qu'il est impossible d'établir la part des conditions favorables ou défavorables à différents degrés. Seulement, dans le cas d'un développement extrême d'un côté ou de l'autre, on peut formuler des conclusions précises sur l'utilité ou le dommage. Ainsi, on peut dire à coup sûr que la grande fermeté de la tourbe et le pouvoir considérable qu'elle a d'aspirer et de retenir l'eau, etc., la nature du sol léger sur lequel cette forme d'humus se produit si fréquemment, dans son entier et vraisembla-

blement dans un sens plutôt défavorable doivent pouvoir changer. Comme la croûte du sol du champ labourable, grâce au travail qu'elle a reçu, n'oscille pas de beaucoup entre les grands extrêmes, dans le sens des propriétés de Schübler, comme la terre de forêt, le forestier sera obligé d'y consacrer une plus grande attention et il lui sera plus facile qu'à l'agriculteur de leur assigner une place parmi les propriétés d'après lesquelles il juge de la fertilité de son sol.

On attribue une tout autre valeur au pouvoir absorbant du sol qu'aux propriétés de Schübler, au point de vue du jugement à porter sur la fertilité de la terre de champ. Après qu'eurent échoué les grandes espérances que, de son temps, on fondait sur l'analyse chimique du sol comme moyen de déterminer la fertilité d'une localité en agriculture, engagé par les recherches de Liebig, depuis cinquante ans on s'est jeté avec toute énergie sur l'étude de cette propriété, dont la détermination est maintenant placée au premier plan comme méthode de bonification (*Bonitirungsmethode*). L'absorption est, comme on sait, la propriété inhérente à un degré différent au sol, en partie par l'attraction physique, en partie par l'affinité chimique, de retenir les plus importantes matières organiques qui sont les aliments indispensables aux végétaux, potasse, ammoniaque, soude, magnésie, chaux et acide phosphorique, quand celles-ci lui sont amenées à l'état de dissolution[1]. La cause pour laquelle on attache une si grande importance à ce pouvoir comme facteur de la fertilité dans le sol des champs, a été exposée par Knop à peu près de la façon suivante[2] : pour que l'analyse chimique puisse être utile, il est nécessaire de séparer la question de la quantité d'éléments nutritifs existant à un moment donné de celle de la nature du magasin de réserve (*Vorrathsmagazin*), qui est la demeure même de la plante. Cette considération conserve sa valeur aussi bien au point de vue purement scientifique que pour décider pratiquement de la fertilité d'une terre labourable. Car, quand on entreprend d'apprécier une habitation ou une autre, on doit chercher à se rendre compte si elle est bien installée au point de vue pratique ou hygiénique,

---

1. Knop, *Kreislauf des Stoffs* (*Cycle de la matière*). Berlin, 1868, p. 500.
2. Knop, *Bonitirung der Ackererde*. Leipzig, 1871, p. 57.

pourvue de bonnes chambre d'approvisionnement, etc., et si ces chambres d'approvisionnement sont pleines ou non; de même, dans l'évaluation de la fertilité d'un sol, il faut faire le partage entre son état de fumure présent et le pouvoir qu'a ce sol d'utiliser de la bonne façon la fumure et d'être habitable et sain pour les plantes.

Cette considération, qui semble être la pensée fondamentale, surtout d'après les efforts faits par Knop, aussi bien dans la bonification rationnelle plus récente de la terre arable que dans les tentatives faites au point de vue scientifique, pour arriver à la solution de la question de savoir ce qui rend un sol fertile, a attribué toute l'importance au pouvoir absorbant. Quelle signification peut-on lui accorder quand il s'agit d'apprécier la fertilité d'un sol forestier?

Ici, l'on doit tout d'abord remarquer que, d'après le cours des idées propres de l'auteur en question, la signification de l'analyse chimique doit augmenter de valeur lorsqu'il s'agit d'une terre forestière. Il règne, à la vérité, dans une exploitation forestière régulière, une uniformité si complète dans ce qui, chaque année, est apporté au sol, que c'est dans des cas exceptionnels seulement qu'il peut être question d'un état de fumure accidentel et changeant; rien n'est apporté au sol forestier qui n'émane de lui et ce qui est enlevé est relativement bien peu de chose [1].

Comme ce pouvoir absorbant, d'après tout ce qui a été dit précédemment à ce sujet, constitue un côté extrêmement important des propriétés de la terre qui porte une végétation, ce doit être aussi le

1. Dans une annonce anonyme des analyses de sols de landes de bruyères faites par Tuxen (*Tidskr. f. Skovbr.*, Bd I), parue dans la *Wochenschrift für Ackerbauer* (1877, 5 juillet), quelques observations annexées à cette publication furent critiquées. On déclarait inadmissible la possibilité de tirer des analyses chimiques des conclusions sur l'infertilité du sable plombifère en comparaison avec celle du sous-sol, et la méthode de Knop pour la bonification par les recherches sur la quantité et la nature de la fine terre absorbante était indiquée comme la seule à employer. L'honorable publiciste ne paraît pas avoir pensé aux particularités des sortes de sols dont il était question. Ce sont des formations géognostiques, de caractère tout à fait identique, et si pauvres en terre fine que ce qui ressort des analyses mécaniques citées, peut à peine être complété par des explications poussées plus loin dans cette direction. Les observations qui se trouvent plus haut expliqueront encore davantage la raison pour laquelle justement la méthode de recherches employée dans le travail cité avait été choisie, de même qu'elle a été employée dans le présent travail.

pilier d'un des plus importants facteurs de la fertilité du sol forestier, mais ici il ne paraît pas être seulement dépendant du caractère primitif du sol, de la nature minéralogique et chimique de ses parties, mais en même temps dépendre aussi de la forme d'humus. Nous avons vu comment le sol peut subir un changement tantôt en partie, tantôt dans toute sa puissance par un passage du terreau à la tourbe. Cette transformation du sol poreux en sable plombifère et parfois en couches de terre rouge sablonneuse avec le plus fort dépôt des éléments absorbants doit influencer au plus haut point la propriété dont on vient de parler, à laquelle on attribue une si grande importance pour la fertilité du sol arable ; on ne peut guère, à cause de cela, lui accorder qu'exceptionnellement la même valeur pour la bonification qu'en agriculture.

Enfin, il me paraît être extrêmement difficile d'admettre que le pouvoir absorbant du sol est l'expression de la fertilité de ce sol, quand le quantum des matières absorbantes est si extraordinairement différent dans les diverses parties du sol. Si la quantité d'alumine ferrugineuse augmente peu à peu avec la profondeur, alors le pouvoir absorbant, qui est lié essentiellement à cette matière, doit changer d'une façon analogue et il peut à cause de cela être difficile d'appuyer la bonification pratique seulement sur le pouvoir absorbant. Cela s'applique peut-être de préférence à la terre forestière, mais aussi à la terre arable, où, bien qu'avec moins de régularité, ces conditions se font valoir. C'est sur ce fait que s'appuient aussi les plus récentes propositions concernant une méthode de détermination de la fertilité du sol, la méthode de profil d'Orth [1].

Puisque, dit-il, la quantité de chaux et d'alumine ferrugineuse est très fortement réduite dans les couches supérieures du sol, mais que ces matières existent ordinairement en plus grande quantité dans les autres couches, la fertilité du sol doit donc être réellement liée au degré et à l'extension du lavage et du limonage ; le profil géognostique du sol doit donc donner la juste expression de la constante pour la fertilité du sol [2]. Les vastes recherches qui servent à

1. *Geognostisch agronomische Kartirung*. Berlin, 1875.

2. *Passim*, p. 14, 30. Voyez aussi : *Die naturwissenschaftlichen Grundlagen der Bodenkunde*. (Nobbe, *Landw. Versuchst.*, Bd XX, 1877, p. 63.)

appuyer cette façon de penser, confirment le plus complètement possible l'exactitude des résultats touchant ces conditions, auxquels notre série de recherches nous a conduit. Il saute aux yeux que des changements aussi importants de la croûte terrestre se sont accomplis dans le terrain et « s'accompliront encore mieux dans la suite[1] », qu'on doit en tenir compte pour l'estimation de la fertilité du sol et que, d'abord, la recherche des parties composantes du mélange, de la composition minéralogique, des rapports physiques de la couche, aussi profondément que les racines des végétaux y pénètrent, nous fournit le moyen d'estimer la fertilité d'un sol de culture. Pourtant nos observations nous laissent penser que ce qui s'accomplit encore plus tard dans le sol est, à la vérité, différent suivant la forme d'humus qui, dans la forêt, subit des changements beaucoup plus forts que dans le champ ; la nature de la couche d'humus doit donc jouer là aussi un rôle beaucoup plus grand, eu égard aux facteurs admis par Orth.

On pourrait peut-être résumer ces observations sur la terre forestière et la terre arable de la façon suivante : la fertilité des deux est régie, à la vérité, par la richesse du sol en nourriture végétale, quoique la méthode d'exploitation, différente pour les deux, exige une plus grande attention pour l'un que pour l'autre. Pour ces deux sortes de sols, l'importance de ce facteur est limitée à un haut degré par l'état physique du sol, aussi bien que par le caractère qu'ont fait ressortir Schübler, Knop et surtout Orth. Comme cet état physique est cependant influencé d'une façon très sensible dans la forêt par la forme d'humus, une importance tout à fait prépondérante doit lui être attribuée, aussi bien dans des recherches scientifiques sur les rapports de l'arbre forestier au sol que dans les travaux pratiques de bonification. A mon avis, c'est le manque de concordance existant entre les différences dans les méthodes employées pour le travail du sol en agriculture et en sylviculture, qui intervient avec une profonde énergie dans le développement des principes théoriques.

---

1. *Passim* (*Landw. Versuchst.*, p. 69).

APPLICATION

De l'examen des sols.

L'examen des sols et la description qui accompagne d'ordinaire les travaux sur la régularisation de l'exploitation des forêts et qui, en général, forment les principes du plan de culture devront, étant donnée notre connaissance actuelle de la terre forestière, occuper une place assez restreinte.

Ainsi, dans les meilleures régions du pays, la caractéristique du sol presque dans chaque division, d'après l'examen ordinaire fait à une profondeur de deux coups de bêche, s'exprime le plus souvent de la façon suivante : couche supérieure de terreau reposant sur un sous-sol (*Untergrund*) d'argile sableuse ou de sable argileux, etc. En outre, il faut encore faire remarquer que la couleur du sol ne paraît être aucunement un indice certain de la richesse en terreau, que la couche inférieure, qui est désignée ordinairement sous le nom de *Untergrund,* sous-sol, parce qu'elle a la couleur jaune d'ocre, n'est en aucune façon toujours le sous-sol ; de plus, que cette description donne des conclusions dénuées d'importance, lorsque le caractère de la couverture d'humus, si pleine d'importance pour les travaux de culture et le développement des plantes, peut être au plus haut point différent sur des emplacements qui conservent cette description d'après la pratique suivie jusqu'ici.

Nos analyses nous ont montré que le sol (*Obergrund*), même avec une coloration extrêmement différente, peut contenir la même quantité de matières organiques, si bien qu'un sol qui, en apparence, semble privé de matières humiques, peut tout aussi bien être appelé terreau (*Mull*) que les couches brunes, d'une coloration très foncée, du sol (*Obergrund*), ordinairement désignées par ce nom. Le sol en forme de terreau se reconnaît essentiellement à son état parfaitement meuble, de mélange intime, et aussi parce que sur un sol argileux extrêmement fort, comme dans les forêts étendues du Lolland, il doit consister en limon sableux ou en sable argileux ; aussitôt que le terrain s'élève un peu, il est une conséquence naturelle

de l'enlèvement, par lavage de l'alumine, des places plus élevées qui se produit partout. La puissance du sol (*Obergrund*) doit donc être estimée d'après la distance du terreau graveleux proprement dit, noir-gris jusqu'au sous-sol (*Untergrund*), ferme, inégalement coloré avec sa partie supérieure claire, où celle-ci existe. La couche supérieure du sol, estimée de cette façon, a ordinairemement une puissance de 2 à 4 pieds (0^m,6277 à 1^m,255), elle peut cependant se restreindre jusqu'à 1/4 de pied (0^m,078) ; ou moins, mais aussi être considérablement plus puissante.

Comme les conditions d'humidité de la superficie sont influencées à un degré qui n'est pas négligeable par l'éloignement du sous-sol, par conséquent par la puissance du sous-sol meuble, cette condition doit constituer une partie qui n'est pas accessoire de la description ; un éloignement faible rend en général le sol froid, un éloignement très considérable le rend sec.

A cela il faut ajouter la nature réelle du sous-sol, caractérisée par les indices dont on a parlé ; celle-ci sera, en général, pour l'estimation des qualités du sol, une règle beaucoup meilleure que le sol avec ses conditions de croissance changeantes. Seulement, sur le sable d'alluvion maigre, c'est à peine s'il existera une limite apparente entre le sol et le sous-sol, et la détermination de l'éloignement de ce dernier de la superficie ne sera, à cause de cela, pas toujours possible ici.

La détermination de la croûte terrestre proprement dite ou de la couverture d'humus devrait certainement constituer la partie essentielle de la description, car de cela dépend, plus que de toute autre chose, le choix du mode d'espacement d'arbre et de la méthode de culture. Les dépôts humiques peuvent, tout aussi bien sur les sols argileux que sur les sols sableux, soit manquer complètement à la partie superficielle de la croûte terrestre, quand le soleil ou le vent ont fait disparaître rapidement la couverture feuillue et, par suite, ont éloigné les éléments constitutifs de cette couche, ou bien la forme d'humus peut plus ou moins se rapprocher d'un des types principaux décrits plus haut. La détermination de ce type et sa caractérisation, soit au moyen d'une nomenclature semblable à celle proposée ici, ou bien par un choix bien fait et certain des plantes

caractéristiques de la végétation des sols, paraît, en dehors de l'indication de l'éloignement d'un sous-sol réel et de la nature de celui-ci, être, pour une description élémentaire des sols, une forme plus instructive que celle employée aujourd'hui.

A l'aide de descriptions de sols, dans des examens plus approfondis que ceux qui s'appliquent à des recherches faites sur des surfaces fermes, on ne peut pas, dans l'état actuel de nos connaissances de la nature de la terre de forêt, pousser avec avantages les recherches plus loin qu'une analyse mécanique de la couche supérieure du sol jointe, et du sous-sol, sur trois ou quatre points de la surface, conjointement avec l'examen des conditions mentionnées plus haut. Si l'on choisit les échantillons de la surface du sol environ à 4 pouces ($0^{m},1046$) au-dessous de la superficie où finit la couche plus sombre, et les échantillons du sous-sol à quelques pouces au-dessous de la limite la plus inférieure de la couche supérieure claire de celle-ci, on obtient ainsi exactement, en dehors des éléments du sous-sol, en même temps le degré de limonage de la couche supérieure et vraisemblablement aussi par ce moyen, une indication sur d'autres conditions importantes, comme le pouvoir absorbant et analogues, sur lesquelles on pourrait arriver à formuler des conclusions plus larges par l'emploi de travaux très importants. La méthode de Schütze pour la détermination de la richesse du sol en sels solubles peut, comme cela ressort du travail de Tuxen qui vient après, être employée seulement avec une grande réserve et si l'on veut déterminer un corps dans le sol par la voie chimique, c'est, sans aucun doute, la chaux qu'on doit choisir.

Sur les soins à donner au sol dans la forêt.

Il est de pratique générale, répétée dans tous les traités et reconnue par tout forestier, que la porosité et la fraîcheur du sol sont obtenues par des installations de nature à maintenir longtemps la couverture feuillue sur le sol. Mais nos observations pourraient maintenant montrer que cette influence de la couverture feuillue doit être attribuée non seulement aux processus du monde inanimé, aux agents purement chimiques et physiques, mais aussi pour une

part assez considérable à la vie organique, qui habite un sol forestier frais et bien ombragé ; le travail du forestier, pour protéger le sol, semble devoir être, à un degré essentiel, de favoriser le développement d'une troupe d'êtres qui travaillent en secret à son avantage. D'après cette explication, il est compréhensible qu'il résulte de là des étendues de terre maigre et sèche, qui portent des forêts de hêtres sur lesquelles le sol est recouvert de tourbe, malgré toute la prévoyance imaginable et d'une protection complète ; ce sont là de tels emplacements qui, même par le meilleur traitement de la forêt de hêtres, n'ont pas été mis en état de livrer des conditions convenables pour le développement des organismes du terreau de hêtres.

Mais, si l'on fait exception de ces places, le forestier aura, en général, pour mission de provoquer le développement du bon terreau et de protéger la vie animale qui contribue si puissamment à sa formation. Il peut arriver à cela en maintenant constamment le sol ombragé, en ayant soin que les bords extérieurs soient pourvus de couverture et qu'il ne dégarnisse pas la forêt trop fortement et sur de trop grandes étendues, pendant la régénération. Si l'on considère la chose avec justesse, il se produit, à vrai dire, par la disposition adoptée chez nous, des coupes d'ensemencement claires, une perturbation extraordinairement étendue dans la nature d'un emplacement. Le sol ombragé, frais, protégé contre le vent et la gelée nocturne, est subitement ouvert à toutes les influences dont il avait été jusqu'alors protégé avec soin. Il s'ajoute encore à cela une inclinaison vers le sud ou l'est, où le soleil brûlant ou le vent desséchant peut agir avec sa force entière, ou bien le sol est exposé au vent d'ouest, qui balaie le feuillage qui, jusqu'alors, abritait la vie animale de la terre, et ainsi la transition devient plus brusque. Tout naturaliste qui croit fermement à la relation intime qui existe entre les propriétés physiques d'un emplacement et la vie animale intérieure et les plantes, comprendra aussitôt que l'installation d'une coupe d'ensemencement crée une situation tout autre qui favorise l'immigration de nouvelles formes et leur victoire sur d'autres formes prédominantes jusque-là. Une coupe d'ensemencement ouverte est un emplacement zoologique et botanique entièrement différent d'une forêt de hêtres élevée en futaie pleine, et s'il est admis que la forme d'humus

est influencée à un degré sensible par le monde animal et végétal particulier du lieu, il doit donc se produire aussi un changement dans la direction que prend la formation d'humus. De quelle sorte sera ce changement et combien grand sera le rôle qu'il jouera dans l'économie de l'exploitation de la forêt, cela dépend essentiellement de la nouvelle population à laquelle l'emplacement donnera asile. Il en est de même pour un grand nombre d'autres installations d'exploitations analogues que pour les coupes d'ensemencement ; une coupe d'éclaircie exagérée, un dépouillement imprévoyant des bords extérieurs qui servent de protection, un jardinage sans plan et d'autres causes semblables, pourront amener les mêmes changements dans la vie organique qui s'agite sur le sol des forêts et produire les mêmes phénomènes que ceux que nous trouvons réellement dans la nature. En appelant l'attention sur ces rapports, nous ne voulons certainement donner aucune nouvelle méthode ; car, aussi longtemps que la sylviculture a été l'objet d'un traitement intelligent, on a su à quels dangers on s'exposait par les changements subits dans les conditions d'ombragement et la protection du sol. Mais nous croyons que nos observations peuvent servir à éclairer sur l'emploi des vieilles méthodes bien connues et pour la recommandation de leur signification.

Mais on ne doit pas oublier que la forêt de hêtres elle-même prend la part la plus essentielle à la formation de la tourbe, de manière que de toutes les sortes de forêts auxquelles nous avons affaire chez nous, c'est celle qui exige la plus grande attention, ce qui est également établi de la façon la plus complète par la pratique.

Comme le réseau de racines superficiel et épais est un facteur qui contribue essentiellement à la formation de la tourbe, on devra, aux places où ce réseau a commencé à se développer, au cas où la végétation de bruyères (*Haidekraut-Vegetation*) n'est pas trop menaçante, apporter de meilleurs soins au sol en sacrifiant les derniers arbres restants et en pratiquant un reboisement habile ; la présence prolongée des porte-graines augmentera sans aucun doute le mal d'année en année. Nous verrons la confirmation entière de ce fait par la pratique, et la plupart des chefs de cantonnement dans le nord de Seeland et dans le Jütland central trouveront certainement que cela concorde avec leurs observations personnelles réitérées.

Mais, si la tourbe se développe et menace de préparer dans l'avenir à la sylviculture des embarras sérieux, la différence entre le terreau et la tourbe paraît donner un procédé qui dissipe le mal ainsi produit. Le terreau est poreux, les restes organiques sont bien mélangés avec la terre minérale et leurs produits de destruction, grâce à un accès suffisant de l'oxygène de l'air, se trouvent principalement sous forme neutre. Par le travail et l'aération, ainsi que nous l'avons entrepris avec succès sur la tourbe de bruyère analogue, on peut remédier à un haut degré aux conditions défavorables du sol en rapport avec la tourbe de hêtres, c'est-à-dire la fermeté, le mélange imparfait, un accès insuffisant de l'oxygène de l'air, par lesquelles se produisent les acides de la croûte et la formation de sable plombifère. Cette conclusion semble aussi être en accord parfait avec la pratique la plus récente en sylviculture, dans laquelle le travail de la surface consacré à la régénération est toujours plus fréquent. Bien entendu, l'emploi de l'alcali, de la chaux éteinte, des cendres de bois pourra favoriser la destruction de la tourbe et, quand on a l'occasion de créer cette matière, on doit considérer cela comme très utile. Malheureusement, l'emploi de pareils moyens ne peut être mis en pratique qu'exceptionnellement, dans de plus grands districts forestiers.

Sur le choix de l'essence.

Le résultat principal de nos études doit avoir pour but le choix des arbres et, si je ne me trompe, ces études nous fournissent pour cela un guide tout à fait sûr.

Si le sol est recouvert de tourbe, les conditions qui ont produit cette forme d'humus peuvent être une propriété invariable du sol et de l'emplacement, comme cela doit certainement s'appliquer à beaucoup de places dans le Jütland et dans quelques parties des forêts d'État dans le nord de Seeland, où le sol est si sec que la vie organique, qui devrait hâter la formation du terreau, peut difficilement se développer. Seulement, la formation de tourbe peut être le résultat d'un traitement incorrect et fait sans art.

Dans le premier cas, on devrait bien, par un travail profond du

sol, s'efforcer de créer des conditions telles que le hêtre puisse prospérer; mais on pourra, d'après ce qui précède, conclure qu'il serait au plus haut degré vraisemblable que la régénération des hêtres qui suivrait trouverait une couverture de tourbe développée, comme la régénération actuelle. L'amélioration du sol aurait ainsi seulement une valeur passagère et, pour cela, on renoncera certainement, à de telles places, à la culture du hêtre et on devra consacrer le sol à des essences qui ne produisent pas de tourbe, ou au moins, qui, comme le hêtre, ne pourront pas être arrêtées dans leur développement par les propriétés défavorables de la couverture de tourbe.

Si, au contraire, les caractères particuliers du lieu donnent à penser que la formation de tourbe est développée surtout par suite de mauvais traitement ou de conditions défavorables, sur quoi, en général, l'aspect de la forêt peut renseigner le forestier expérimenté, alors il n'y a presque rien qui puisse entraver l'installation du hêtre. D'après la pratique ordinaire, on doit entreprendre sur un tel sol la régénération du hêtre le plus souvent en fourches et en carrés ; on ne travaillera pas le sol en dehors de ces places et les porte-graines conservés comme ombrelle maintiendront ainsi la couverture de tourbe entre les places travaillées. Ce procédé ne semble pas assurément être suffisant ; les jeunes plantes, à cause de l'état défavorable du sol, souffriront bientôt, et ce n'est malheureusement que trop souvent que de telles cultures ont un aspect chétif. Si l'on examine de jeunes plants de hêtre à de telles places d'ensemencement, on constate que déjà, à l'âge de 3 à 4 ans elles sont enlacées du plus épais réseau du mycélium qui sort de la tourbe environnante. D'après cela, il me semble que le procédé le plus sûr pour mettre à nouveau en culture de hêtres une pareille surface, sera d'éclaircir complètement la forêt, puis d'ouvrir la surface en la brisant et de l'aérer pendant une année pour y implanter ensuite une espèce d'arbre qui ne forme pas de tourbe, qui peut servir de première culture (*Vorkultur*) avant les hêtres, comme, par exemple, des mélèzes et des pins : quand ces arbres sont devenus assez vieux, on peut passer au hêtre. Là seulement où la formation de tourbe est très faible, il serait parfaitement logique de commencer, comme sur les autres parties de la surface,

avec la culture du hêtre ; mais aussi ces places paraissent ne pas pouvoir se passer d'un travail profond, comme on en entreprend d'ordinaire et, en tous cas, le mélange du hêtre avec d'autres espèces d'arbres qui ont des racines qui pénètrent profondément, comme le mélèze et le pin, sera opportun.

Enfin, on peut voir à quelques places dans nos régions forestières de caractère défavorable, comme sur les étendues de sable mouvant de l'île de Seeland, dans les plus anciennes plantations de bruyères, sur des dunes très sèches et des endroits semblables, autrefois livrés à la culture, des plantations de hêtres en excellente croissance, après une préparation du sol par une culture d'arbres résineux. Ces plantations de hêtres dans du sable meuble surprennent souvent par leur bonne croissance et jouissent ordinairement de l'attention du forestier dirigeant, justement parce que le résultat lui apparaît exceptionnellement. Il semble pourtant que ce soin, quoiqu'il puisse être naturel et qu'on soit autorisé à le nommer ainsi, ne soit pas bien placé. De tels peuplements de hêtres doivent certainement, au moins aux places haut placées et sèches, finir par des formations de tourbe, et comme on l'a mentionné plus haut, un examen attentif du sol permet aussi de constater un développement étonnant du champignon, mycélium noir-brun, qui est le commencement de ce phénomène. De telles surfaces peuvent seulement avoir été maintenues en culture de durée au moyen d'essence ne donnant pas lieu à une formation de tourbe.

Quelques recherches chimiques sur le sol des forêts de hêtres,

Par C. F. A. TUXEN.

La série de travaux analytiques publiés dans cet ouvrage sur le sol forestier a été entreprise à l'instigation du docteur Müller, comme complément à ses recherches intitulées : « Les Formes de l'humus dans les sols siliceux et argileux des forêts de hêtres. » C'est pourquoi, ces recherches offrent toutes les garanties de certitude, tant au point de vue du but qu'à celui du nombre et de la valeur des analyses

qui ne pouvaient être exécutées que pendant mon temps de loisir. Les échantillons de terre ont été prélevés par le docteur Müller et la description des différents profils a été publiée d'après ses données. Les numéros des profils sont les mêmes que ceux qu'il a indiqués dans son travail précité, dans lequel on trouvera en même temps l'explication de plusieurs indications employées pour les couches de terre et on doit avoir recours à ce travail si l'on veut comprendre entièrement notre mémoire.

Sur les éléments humiques. — De la quantité d'acide humique contenue dans les différentes couches de terre.

Étant donné qu'il était démontré que tous les échantillons des couches de terreau prélevés à l'état frais dans les forêts de hêtres rougissaient le papier de tournesol, on devait chercher à déterminer pour quel sol cette réaction devait être attribuée seulement à l'acide carbonique et dans quel cas une réaction analogue pouvait être due à l'acide humique libre soluble dans l'eau.

C'est pourquoi tous les échantillons de terre ont été essayés à l'état frais, en partie avec du papier et en partie avec la solution de tournesol ; ensuite le papier de tournesol était desséché ou la liqueur chauffée à l'ébullition, pour chasser l'acide carbonique. Dans les deux cas, chaque échantillon de terreau ne donna aucune coloration rouge, tandis qu'au contraire, aussi bien la tourbe que les combinaisons de terre rouge et d'orthose, quelquefois aussi le sable plombifère, donna souvent une réaction acide aussi nette.

Comme cette différence nettement prononcée dans les propriétés chimiques des deux formes d'humus exigeait une recherche plus minutieuse touchant la propriété la plus essentielle de la matière humique qu'elles renferment, on entreprit, pour s'orienter, une analyse qualitative des éléments humiques, sur un plus grand nombre d'échantillons de sols forestiers et, comme comparaison, on essaya la réaction sur quelques échantillons de sols de champs et de jardins prélevés sur le terrain de l'École supérieure d'agriculture de Copenhague.

Il ressortit de ces expériences que c'est seulement dans la tourbe et

dans les matières humiques qui se trouvent dans les couches de terre sous-jacentes, qu'on rencontrait particulièrement de l'acide humique et en réalité sous forme d'extrait aqueux, qui parfois renfermait des quantités relativement importantes de ce corps. Ensuite, les échantillons de terre furent traités à chaud par une dissolution étendue de carbonate de soude ; après filtration et précipitation de la liqueur filtrée par de l'acide, on obtint : dans l'extrait tiré de la tourbe, un très riche précipité d'acide humique, dans l'extrait tiré du terreau, un dépôt important, et un précipité non négligeable dans l'extrait tiré du sol riche du champ et du jardin.

De plus, on devait faire une détermination quantitative approximative des éléments humiques, aussi bien que l'acide humique soluble dans l'eau et dans une dissolution de carbonate de soude.

Pour la détermination des éléments humiques, les échantillons de terre furent desséchés à l'air, puis séchés à 100° et calcinés. La perte par calcination est comptée dans le tableau suivant comme matières humiques et eau combinée chimiquement, quoique cette dernière ne puisse avoir une importance réelle que pour les 15 ou 16 échantillons de sol argileux sur lesquels on a expérimenté.

La détermination quantitative de l'alcali libre et de l'acide humique libre qui prêtent leur réaction aux différentes sortes de sols, s'opéra comme il suit : 25 grammes de terre restèrent 24 heures en contact avec 100 centimètres cubes d'eau distillée, colorée avec une trace de tournesol, dans un flacon hermétiquement fermé avec un bouchon de liège, qu'on agitait fréquemment. Puis, on faisait passer une partie de la liqueur claire, à travers un filtre lavé et desséché ; 50 centimètres cubes de la solution filtrée étaient portés à l'ébullition (100°), pour chasser l'acide carbonique libre. Ensuite on ramenait au volume primitif, en ajoutant de l'eau pour remplacer celle qui s'était évaporée : la dissolution était alors neutralisée avec une solution titrée faible de soude. La quantité d'acide libre est comptée comme acide humique, parce que ce dernier existe en grande quantité et donne, quand ce sont des échantillons riches en humus, des dissolutions aqueuses faiblement colorées. Mais on ne peut cependant pas encore affirmer avec certitude que la réaction acide des couches du sol soit due uniquement à ces acides humiques ; d'autres produits orga-

niques d'oxydation analogues pourraient bien entrer en jeu en même temps ; mais seulement comme on a le devoir de déterminer les acides libres, on ne peut s'exposer à aucune faute grave, si on attribue à ces corps dans le calcul la formule de l'acide humique. La recherche a été entreprise sur une terre fraîche non desséchée à l'air afin que l'acide soluble ne se transforme pas en acide insoluble par la dessiccation. La quantité d'eau a été déterminée sur une autre partie de l'échantillon. Les échantillons de terreau des forêts de hêtres ont une réaction neutre ; la faible coloration rouge qui se produit dans leur dissolution, disparaît aussitôt par l'ébullition et, par conséquent, doit être attribuée à l'acide carbonique. Les essais sur les échantillons de sols prélevés dans les champs et les jardins qui ont une réaction alcaline ont été faits au moyen d'acide oxalique titré et le dosage à l'état d'oxalate d'ammoniaque $(NH^4)2O$.

Nous donnons ci-après le résultat de ces déterminations quantitatives :

TABLEAU

NATURE DES ÉCHANTILLONS DE TERRE.	SUR 100 PARTIES DE TERRE séchées à 100 degrés.			SUR 100 PARTIES DE TERRE FRAICHE.		
	Eau perdue par évaporation à 100°.	Humus et eau de composition.	Résidu de la calcination.	Alcali libre soluble dans l'eau froide.	Acide humique libre soluble dans l'eau froide.	Acide humique soluble dans le carbonate de soude.
Terre de jardin.						
1. Jardin de l'École supérieure d'agriculture ayant reçu une forte fumure.	3.81	9.29	86.90	0.0085	»	
Terre de champ.						
2. Champ d'expériences de l'École supérieure d'agriculture fumé	3.02	5.11	91.87	0.0060	»	
3. — resté sans fumure depuis 14 ans	3.43	3.38	93.19	0.0026	»	non déterminé
Terreau de forêts de hêtre.						
4. Ergebäksvang.	1.91	5.10	92.99	neutre	neutre	
5. Frederiksdals Skov.	2.49	5.43	92.08	»	»	
6. Frederiksdals Park.	3.62	7.24	89.14	»	»	
7. Store Hareskov. Profil I.	2.08	8.33	89.59	»	»	0.5
Tourbe des forêts de hêtre.						
8. Store Hareskov. Profil IV	5.95	34.70	59.35	»	0.049	8.4
9. Teglstrup Hareskov. Profil VII	9.38	38.88	51.74	»	0.077	9.3
10. Store Hareskov. Profil VI.	8.16	44.08	47.76	»	0.112	
11. Vieille tourbe de forêts de hêtres sur laquelle a crû depuis une longue série d'années l'*Aira flexuosa*. Gribskov.	9.65	48.31	41.84	»	0.287	
12. — (bruyères et airelles) Lavenskov	9.45	45.55	45.00	»	0.121	
Terre de bruyère.						
13. Portant une végétation de bruyères courtes. Lövstrup. Plantage . . .	7.50	41.50	51.00	»	0.040	
Plantage. — Tourbe. — Terreau.						
14. Teglstrup Hegn. Profil VIII.	14.00	62.50	23.50	»	0.0193	non déterminé
Sable plombifère.						
15. Argile blanchâtre intermédiaire entre la tourbe et la terre rouge. Store Hareskov. Profil VI.	0.77	2.24	96.99	»	traces	
Terre rouge.						
16. Terre rouge argileuse. Store Hareskov. Profil VI.	1.11	3.13	95.76	»	0.013	
17. Terre rouge de pays de landes. Lövstrup. Plantage.	2.45	6.55	91.00	»	0.034	

Enfin quelques recherches ont été entreprises sur les matières humiques contenues dans une couche correspondant à l'*Ortstein* de *Lakenskov*, près *Silkeborg*. Plateau supérieur recouvert d'un petit bois à 4 pouces ($0^m,1046$) de profondeur ; tourbe très tenace, de 3 à 4 pouces ($0^m,0784$ à $0^m,1046$), blanchâtre ; sable micacé très fin ; en dessous, de l'argile micacée jaune et plastique, dont la partie superficielle est divisée en grumeaux recouverts d'une poudre brun-café. La couche superficielle de ces grumeaux a été séparée par grattage et soumise à une analyse partielle, qui a donné les résultats suivants :

	P. 100.
Matières humiques	3.97
Acides humiques	11.36
Eau hygroscopique	5.29
Cendres	79.38
	100.00

La première chose que l'on remarque dans ces résultats, est la grande différence qui existe entre la teneur du terreau et celle de la tourbe en matières organiques. Puis, il ressort de ces nombres combien grande est la divergence entre la formation de l'humus dans le terreau et dans la tourbe de ces forêts de hêtres. Tandis que, par exemple, dans la tourbe, environ $^1/_4$ de la quantité totale des substances organiques consiste en acide humique, cette proportion se chiffre pour le terreau environ au $^1/_{16}$. Mais cette différence semble encore bien plus grande si l'on considère que les résidus organiques du terreau sont pour la plus grande partie entièrement détruits, alors qu'au contraire la tourbe renferme une très grande quantité de fibres de racines, de débris de feuilles, etc. Il paraît d'après cela vraisemblable que l'excédent des matières humiques acides de la tourbe soit dans le terreau des produits neutres d'oxydation. Dans quelques-unes des déterminations (qui n'ont pas été citées plus haut) des acides humiques dans la terre rouge, principalement dans le profil VII à *Strandskov*, on voit qu'environ la moitié aux $^3/_4$ de la matière organique consiste en acides, tandis que dans la terre rouge de l'emplacement dont on parle plus bas (le profil VII à *Strandskov*), la presque totalité des substances orga-

niques qu'elle contient, consiste en acides humiques. La partie des acides humiques qui peut être extraite par l'eau froide, est au contraire très faible, et il est dans la nature des choses qu'il ne peut y avoir que de petites quantités de ces substances qui se trouvent à une époque déterminée dans la tourbe, principalement quand de longues périodes de saison humide sont survenues, comme dans l'automne qui a précédé l'époque de la prise des échantillons.

Le ciment[1] *dans les couches de terre fermes.*

La terre rouge offre une telle dureté, qu'elle prend le caractère d'une formation analogue au grès, qui a une ressemblance frappante avec le véritable grès et s'appelle d'ordinaire de ce nom. Toutefois, comme la préexistence dans tous les cas d'un agrégat d'oxyde de fer avait été mise en doute, on devait chercher à déterminer le ciment des éléments sableux et siliceux de la couche. Les grumeaux durs de la terre rouge des profils V et VIII avaient été traités par divers agents de dissolution, notamment de l'eau froide distillée, de l'eau contenant des traces d'acide chlorhydrique et de l'eau légèrement ammoniacale. Les échantillons traités par l'eau pure conservaient intactes leurs propriétés, même après ébullition. L'eau ammoniacale précipita immédiatement les grumeaux durs sous forme de sable presque pur dans une dissolution fortement colorée en brun. Dans l'eau acide, la précipitation se faisait tout aussi rapidement, mais sans que la dissolution se colorât. De la dissolution ammoniacale, on pouvait, au moyen d'acide, précipiter l'acide humique et la quantité du précipité se trouvait en proportion avec la coloration brune de l'échantillon de terre. D'après cela, il semble que le ciment peut être considéré comme formé par des acides humiques et des sels formés par ces acides ; s'il avait été de l'hydrate d'oxyde de fer, il n'aurait pas été précipité par l'eau ammoniacale.

L'examen du profil V montre clairement que la coloration de la terre rouge est due, dans tous les cas, aux matières humiques. La couche de terre rouge, analogue au grès, qui a une épaisseur d'en-

1. *Das Bindemittel in den festen Erdschichten.*

viron 16 pouces ($0^m,4284$), a en général une couleur jaune-brun sale; mais plusieurs parties qui traversent la couche sous forme de filons et de cônes, sont brun foncé. Dans ces parties différemment colorées, on a déterminé les quantités d'humus (par la perte au rouge) et l'oxyde de fer, et on obtint les résultats suivants:

		p. 100.
Dans la terre rouge-brun clair. . .	Oxyde de fer.	0.46
	Acide humique.	2.20
— — brun foncé. . .	Oxyde de fer.	0.47
	Acide humique.	4.40

Parfois, le sable plombifère a aussi la fermeté du grès, comme, par exemple, dans le profil IX à *Lavenskov* et dans le profil VIII à *Strandskov*. Une recherche identique démontra que, vraisemblablement, le ciment consiste dans cette couche aussi en acides humiques et sels formés par ces acides.

Par contre, on constata que les grumeaux de la couche de terre blanchâtre, très compacte, qui existe sous le terreau, dans la partie supérieure du sous-sol, ne sont en aucune façon influencés par l'eau ammoniacale ou acide, tandis que par l'ébullition avec l'eau distillée, les grumeaux se précipitent lentement, en laissant une dissolution argileuse. Dans ce cas, le ciment ne peut donc consister ni en carbonate de chaux, ni en acide humique, ni en combinaisons humiques, mais il semble devoir être remplacé dans ces corps par des particules d'argile cimentées ensemble.

Méthode de bonification du Dr Schütze.

Le docteur Schütze a publié un procédé permettant de déterminer exactement, par un moyen simple et qui peut être employé par le praticien, la teneur d'un sol humique en sels solubles, en éléments nutritifs des plantes [1]. Quand on traite, dit-il, un échantillon de sol par de l'eau ammoniacale ou une lessive de soude étendue,

1. W. Schütze, *Beziehung zwischen chemischer Zusammensetzung und Ertragsfähigkeit des Waldbodens* [*Rapport entre la composition chimique et la fertilité du sol forestier*]. (Dankelmann, *Zeitschr. für Forst- u. Jagdw.*, Berlin, I. Bd, 1869, p. 523. III. Bd, 1871, p. 376.)

qu'on agite le mélange et qu'on laisse se déposer le précipité, la liqueur qui surnage au-dessus du précipité est d'autant plus claire que la terre est plus riche en sels, et d'autant plus colorée, qu'elle est plus pauvre. La coloration de la solution ammoniacale doit être dépendante de la quantité d'acide humique. La cause de cette relation doit reposer sur ce fait que les acides humiques qui sont par eux-mêmes facilement solubles dans les alcalis, deviennent insolubles par suite de la présence de sels solubles.

Les recherches précédentes sur les matières humiques du sol de terreau m'ont donné l'occasion d'éprouver la facilité d'application de cette méthode extrêmement simple.

Les échantillons des diverses sortes de terres, riches en humus, sur lesquelles on a opéré (plus haut) ont été placés dans de l'eau légèrement ammoniacale et traités ensuite par la méthode décrite par Schütze. Il résulta de ces expériences que les échantillons 1-3 de terre de jardin et de terre de champ donnèrent une solution argileuse gris verdâtre, les échantillons de terreau (forêts de hêtres) 4-7 une dissolution fortement colorée brun-café, et les échantillons de tourbe une dissolution presque noire. On jugera d'après cela que la couleur dépend de la forme de l'humus et, particulièrement, les échantillons de *Store Hareskov* nous ont permis de tirer une conclusion directe sur la coloration et la teneur en acide phosphorique, potasse et chaux, ainsi que les éléments dont les sels, comme l'a admis Schütze, peuvent diminuer la facilité de dissolution des acides humiques dans une solution alcaline. La tourbe de *Store Hareskov* renferme notamment (Profil IV) 0,060 p. 100 d'acide phosphorique, 0,226 p. 100 de chaux et 0,059 p. 100 de potasse ; elle donna une dissolution presque colorée en noir. Au contraire, le terreau provenant de la même forêt (Profil I) contenait seulement 0,037 p. 100 d'acide phosphorique, 0,049 p. 100 de chaux et 0,037 p. 100 de potasse et donna une dissolution beaucoup plus claire, brun-café. Le rapport était donc l'inverse de celui qui devait exister d'après les données de Schütze.

Nous n'avons pas l'intention de discuter toute la commodité qu'offre en raison de sa grande simplicité cette jolie méthode, mais nous voulons seulement faire ressortir qu'elle est, comme le pense

Schütze, difficilement indépendante du rapport existant entre la quantité des acides humiques préexistants et la teneur en sels solubles, et que, par conséquent, elle peut s'employer utilement, seulement pour les concrétions humiques de même constitution, principalement pour le terreau proprement dit.

Les parties constitutives des différentes sortes de sols et les éléments solubles dans l'acide chlorhydrique.

Les échantillons de terre sur lesquels on a expérimenté, après avoir été desséchés à l'air, ont été passés à travers un tamis à mailles métalliques de 2 millimètres ; ce qui est resté sur le tamis a été compté comme pierres dans les tableaux qui suivent. La partie tamisée des échantillons ainsi traités et débarrassés de pierres a été soumise à l'analyse mécanique et à l'analyse chimique.

Comme nous avions le devoir de déterminer les éléments solubles contenus dans ces échantillons de terre et, de plus, d'établir la part de ce qui se trouve combiné aux corps humiques, il était donc nécessaire d'éliminer ceux qui étaient présents en trop grande quantité. Les échantillons de terre, riches en humus, ont été calcinés avant leur traitement par l'acide chlorhydrique dans un moufle, mais exactement jusqu'au point nécessaire pour la carbonisation. Au contraire, les échantillons pauvres en humus ne furent pas soumis à ce traitement : mais la terre, débarrassée de pierre et séchée à l'air, fut traitée directement par l'acide chlorhydrique.

Voici comment fut entrepris le traitement par l'acide chlorhydrique : 100 grammes de terre furent traités à chaud jusqu'à l'ébullition par 500 centimètres cubes d'acide chlorhydrique de densité de 1,10. Le titre de l'acide chlorhydrique a été choisi de telle sorte qu'il ne puisse pas décomposer beaucoup les silicates décomposables. Après le chauffage, nécessaire pour dissoudre l'oxyde de fer, et qui était maintenu pendant une heure, on obtenait un résidu gris ou blanchâtre de sable ou d'argile, qui, traité ensuite par l'acide chlorhydrique concentré, ne donnait plus trace d'oxyde de fer. L'ébullition éliminait l'acide chlorhydrique par évaporation. La dissolution ainsi obtenue était, après refroidissement, étendue

avec de l'eau filtrée et le résidu insoluble soigneusement lavé. Après avoir additionné la solution d'un peu d'acide azotique pour détruire les matières organiques, on l'évaporait à sec. Le résidu était ensuite humecté avec de l'acide chlorhydrique concentré, repris par l'eau et filtré; le résidu insoluble ainsi obtenu, desséché, calciné au rouge et pesé; il est compté dans les tables suivantes comme acide silicique. Puis, la dissolution fut étendue à 200 centimètres cubes et c'est dans cette dissolution que, pour la plupart des échantillons de terre, on détermina la teneur en acide phosphorique, acide sulfurique, oxyde de fer, alumine, chaux, magnésie, potasse et soude, et les petites quantités de silice soluble restée dans la liqueur.

Sur la partie des échantillons de terre, résidu du traitement par l'acide chlorhydrique, on entreprit l'analyse mécanique, au moyen de tamis à mailles de différentes finesses. La partie de la terre qui ne passe pas à travers le tamis à mailles de 1 millimètre est considérée comme gravier, et ce qui reste sur le tamis à mailles de $^1/_3$ de millimètre est compté comme sable grossier. L'argile fut séparée du résidu par lévigation et le dernier résidu pesé, compté comme sable fin. L'alumine a donc été déterminée par différence, après lévigation pour l'enlèvement des quantités de tous les éléments déterminés, du poids total de la terre.

Les matières humiques et l'azote ont été déterminés par l'analyse élémentaire; la somme de ces deux corps et de l'eau hygroscopique donna, par différence avec la perte au rouge, l'eau combinée chimiquement. Enfin, l'humidité qui disparaît par la dessiccation des échantillons de terre à l'air à 100°, a été donnée comme eau hygroscopique.

La quantité de sable fin, d'argile, de matières humiques, d'azote, d'eau hygroscopique et d'eau chimiquement combinée, représente la terre fine de Knop.

Le sable fut soumis, pour un certain nombre d'échantillons, à l'examen minéralogique et le fait capital constaté fut que la masse principale consistait en un mélange de sable quartzeux, de particules de granit, feldspath, mica, sable titané et sable contenant de l'oxyde de fer magnétique.

Comme le principal but des analyses consistait à rechercher comment se comportait la quantité des éléments solubles dans les acides étendus pour les diverses couches du sol, on était conduit à employer un dissolvant qui agisse avec la même force sur les différentes sortes de sol. A franchement parler, cela ne peut pas avoir grande valeur pour toute la masse, bien qu'on puisse garantir d'une façon absolue la méthode dont on s'est servi, parce qu'elle est employée généralement dans toutes les recherches de ce genre. Il est pour ainsi dire possible que les échantillons de terre, épuisés à l'ébullition par l'acide chlorhydrique, ne soient pas carbonisés, contiennent encore après ce traitement un peu de matière organique et aient retenu encore de petites parties de matière inorganique solubles et des combinaisons formées avec des matières humiques et analogues.

L'attention est attirée sur la signification de ces matières restées dans le sol, surtout par les recherches de Grandeau[1], et aussi ai-je cherché, en employant sa méthode, à déterminer quelle part on doit attribuer à l'acide phosphorique, à la chaux et à la potasse sous une forme accessible à la plante, qui, même encore après l'épuisement par l'acide chlorhydrique, sont restés dans la terre. Pour cette recherche, j'ai choisi les échantillons de l'humus fortement coloré de la couche superficielle du sol (Profil III), dont la teneur en matières organiques s'élève à 2.67 p. 100 et les échantillons du sous-sol du même profil (0.29 p. 100 d'humus). Après que ces deux échantillons eurent été traités à chaud par l'acide chlorhydrique de la façon indiquée précédemment, on les reprit par de l'eau ammoniacale, puis on filtra la solution, évapora à sec la liqueur filtrée et calcina faiblement. Les résultats furent les suivants :

---

1. Voyez *Jahresberichte über die Fortschritte a. d. Gesammtgebiete d. Agriculturchemie,* 1870-1872, p. 74.

	SOLUBLE dans l'acide chlorhydrique.	SOLUBLE dans l'ammoniaque après épuisement à chaud par l'acide chlorhydrique.
Dans le sol.		
Acide phosphorique	0.065	0.015
Chaux.	0.032	0.008
Potasse	0.040	0.005
Dans le sous-sol.		
Acide phosphorique	0.095	0.002
Chaux.	0.099	traces.
Potasse	0.097	traces.

La méthode de L. Grandeau paraît donc donner, pour l'acide phosphorique, des chiffres trop élevés, mais la différence est si peu importante qu'elle ne peut amoindrir à un degré dangereux l'exactitude des conclusions qu'on peut tirer de ces analyses.

Nous communiquons ci-après les résultats des recherches, avec une courte description des profils sur lesquels on a expérimenté.

Sols de terreau dans les forêts de hêtres.

Profil I. *Store Hareskov*. 2. District forestier d'État de *Copenhague* (*Seeland*). — Terrain plat, bien aplani à la bêche. Taillis de hêtres élevé en futaie pleine, âgé de 30 ans, en bonne croissance. A 2 pouces (0^m,0523), terreau noir ; à 18 pouces (0^m,4807), sous-sol gris-jaune, mouvant et sableux ; à 16 pouces (0^m,4284), couche supérieure du sous-sol silicéo-argileux, très compacte et le plus souvent blanchâtre, mais pourtant, par places, couleur d'ocre. Ce sous-sol est formé de sable fortement argileux et d'argile siliceuse. Les sortes de terre analysées ont été extraites de trois trous, à une distance l'un de l'autre d'environ 4,552^m,25 (40 *Ellen*) ; chaque échantillon est d'après cela un mélange des trois prises d'échantillons qui représentent la même couche en trois endroits différents.

INDICATION des échantillons de terre analysés.	ÉLOIGNEMENT de la superficie.		
	0 — 2".	2 — 6".	6 — 12".
a) *Terre desséchée à l'air.*	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Pierres	11.1	11.70	14.28
b) *Terre desséchée à l'air et débarrassée des pierres.*			
Gravier	1.85	1.80	2.24
Sable grossier	11.50	13.48	14.24
Sable fin	63.27	66.20	62.15
Argile	11.48	12.13	14.98
Humus	7.47	2.92	2.08
Eau hygroscopique	2.08	1.30	1.40
Eau combinée chimiquement	0.86	0.73	0.95
Soluble dans l'acide chlorhydrique	1.49	1.44	1.96
	100.00	100.00	100.00
Azote	0.268	0.107	0.075
c) *Soluble dans l'acide chlorhydrique.*			
Acide silicique	0.115	0.140	0.150
— sulfurique	0.038	0.019	0.012
— phosphorique	0.037	0.023	0.017
Alumine	0.443	0.404	0.682
Oxyde de fer	0.719	0.759	0.996
Chaux	0.049	0.028	0.038
Magnésie	0.034	0.023	0.029
Potasse	0.037	0 025	0.026
Soude	0.022	0.019	0.008
	1.494	1.440	1.958

Le gravier consiste en fragments arrondis de granit, feldspath et quartz, le sable principalement en grains de quartz avec des grains de feldspath, des paillettes de mica et du sable ferrugineux.

Profil II. *Rungsted Hegn. Hirschholmer.* District forestier de l'État (*Seeland*). — Terrain plat, bien aplani à la bêche et haut placé. Forêt de hêtres, en futaie irrégulière, âgée de 20 à 60 années, avec quelques frênes, érables et chênes disséminés. A 3 pouces ($0^{m},0784$),

terreau noir ; à 30 pouces (0^m,8246), terreau noir foncé, exceptionnellement mouvant et léger ; sous-sol silicéo-argileux ; à 10 pouces (0^m,2615), couche supérieure du sous-sol, très tenace, blanchâtre, silicéo-argileuse, qui est formée d'argile sableuse. Les échantillons analysés ont été extraits d'un trou et choisis de telle façon qu'ils puissent représenter les parties supérieure et inférieure du sous-sol et le sous-sol qui est d'une couleur d'ocre exceptionnelle.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	SOL.		SOUS-SOL.	
	Couche supérieure.	Couche inférieure.	Couche supérieure.	Couche inférieure.
a) *Terre séchée à l'air.*	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Pierres	11.51	10.46	10.96	14.62
b) *Terre séchée à l'air et débarrassée des pierres.*				
Gravier	2.23	1.32	1.95	1.80
Sable grossier	12.45	12.85	12.30	10.26
— fin	56.42	61.05	56.00	50.15
Argile	23.40	21.49	27.22	33.96
Humus	2.67	1.23	0.31	0.29
Eau hygroscopique	1.76	1.21	1.30	1.98
Eau combinée chimiquement	1.07	0.85	0.92	1.56
	100.00	100.00	100.00	100.00
c) *Soluble dans l'acide chlorhydrique.*				
Acide phosphorique	0.065	0.110	0.050	0.095
Oxyde de fer	1.253	1.362	1.866	2.643
Chaux	0.032	0.024	0.056	0.099
Potasse	0.052	0.052	0.042	0.097
	1.390	1.548	2.014	2.934

Profil III. *Gelsskov.* 1. District forestier d'État de *Copenhague* (*Seeland*). — Côté nord-est de la montagne de *Gels,* sur une partie en pente douce, exempte d'humidité persistante. Très belle forêt de hêtres (60 années) en excellente croissance. A 3 pouces (0^m,0784), terreau noir ; à 10 pouces (0^m,26154), sous-sol silicéo-argileux, gris-jaune, meuble ; à 8 ou 10 pouces (0^m,2092 ou 0^m,2615), couche du

sous-sol silicéo-argileux, un peu compacte et blanchâtre, composée d'argile sableuse. Les échantillons de terre analysés ont été prélevés d'un trou et choisis de telle sorte qu'ils puissent représenter les parties supérieure et inférieure du sol, la couche compacte et blanchâtre du sous-sol, et le sous-sol, coloré d'une façon variable.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	SOL.		SOUS-SOL.	
	Couche supérieure.	Couche inférieure.	Couche supérieure.	Couche inférieure.
a) *Terre séchée à l'air.*	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Pierres	10.10	10.17	9.87	13.96
b) *Terre séchée à l'air et débarrassée des pierres.*				
Gravier	1.35	1.13	1.25	1.10
Sable grossier	10.33	11.21	10.27	10.10
— fin	62.91	59.56	51.70	47.25
Argile	20.58	22.79	32.60	35.91
Humus	2.11	1.56	0.29	0.14
Eau hygroscopique	1.47	2.80	1.73	3.10
Eau combinée chimiquement	1.25	0.95	2.16	2.40
	100.00	100.00	100.00	100.00
c) *Soluble dans l'acide chlorhydrique.*				
Acide phosphorique	0.045	0.050	0.056	0.074
Oxyde de fer	0.880	1.040	1.680	2.240
Chaux	0.040	0.026	0.032	0.076
Potasse	0.026	0.030	0.088	0.102
	0.991	1.146	1.856	2.492

Sol recouvert de tourbe dans les forêts de hêtres.

Profil IV. *Store Horeskov.* 2. District forestier de l'État de *Copenhague* (*Seeland*). — Terrain plat sans eau stagnante. Futaie irrégulière, forêt de hêtres âgée d'environ 150 ans, d'une croissance qui n'est pas particulièrement bonne. A 3 pouces ($0^m,0784$), tourbe extrêmement tenace ; à 2 ou 3 pouces ($0^m,0523$ à $0^m,0784$), sable plombifère ; à 3 à 5 pouces ($0^m,0784$ à $0^m,1307$), terre rouge : toutes

les couches sont liées très étroitement et ne sont pas remarquablement tenaces. Sous-sol silicéo-argileux. Les échantillons analysés ont été tirés d'un trou.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	TOURBE.	SABLE plombifère.	TERRE rouge.	SOUS-SOL.
a) *Terre desséchée à l'air.*	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Pierres	0.00	4.89	13.06	15.71
b) *Terre desséchée à l'air et débarrassée des pierres.*				
Gravier	0.00	0.77	1.14	2.55
Sable grossier	0.20	12.90	10.68	14.21
— fin	48.10	79.35	72.30	67.43
Argile	9.80	4.95	9.06	9.42
Humus	34.27	1.15	3.45	1.63
Eau hygroscopique	5.95	0.31	0.92	0.97
Eau combinée chimiquement. . . .	0.43	0.15	0.37	0.31
Soluble dans l'acide chlorhydrique .	1.25	0.42	2.08	3.48
	100.00	100.00	100.00	100.00
Azote.	0.619	0.056	0.054	0.029
c) *Soluble dans l'acide chlorhydrique.*				
Acide silicique	0.083	0.040	0.114	0.051
— sulfurique	0.052	0.008	0.020	0.011
— phosphorique	0.060	0.021	0.062	0.037
Alumine.	0.289	0.120	0.899	1.527
Oxyde de fer.	0.359	0.167	0.846	1.684
Chaux	0.226	0.019	0.041	0.038
Magnésie	0.094	0.017	0.046	0.052
Potasse	0.059	0.020	0.034	0.055
Soude	0.030	0.012	0.019	0.028
	1.252	0.424	2.081	3.483

Le gravier consiste en partie en grains de quartz angulaires ou arrondis, et de plus, en fragments de granit et de feldspath. Le sable est formé principalement de grains de quartz avec quelques fragments de feldspath, un peu de mica et de sable de fer titané.

Profil V. *Strandskov, Telgstrup Hegn.* 1. District forestier de l'État *Kronborg* (*Seeland*). — Creusement profond et bas du terrain, bien irrigué. Futaie pleine de hêtres, âgée de 20 ans, en bon état de croissance ; de 4 à 6 pouces (0^m,1046 à 0^m,1569), tourbe analogue au terreau, mouvante, à grains fins ; de 3 à 4 pouces, sable plombifère très tenace, clair et inégalement coloré en noir ; de 2 à 3 pouces, terre rouge très tenace, rouge brun, d'une coloration inégale ; les séparations des couches indistinctes. Sous-sol formé de sable argileux. Les échantillons analysés ont été tirés d'un trou.

DÉSIGNATION des échantillons analysés.	SABLE plombifère.	TERRE rouge.	SOUS-SOL.
a) *Terre séchée à l'air.*	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Pierres	3.52	6.60	4.20
b) *Terre séchée à l'air et débarrassée des pierres.*			
Gravier	1.30	2.30	2.70
Sable grossier	19.48	21.30	19.30
— fin	62.12	58.70	62.00
Argile	13.20	9.20	11.60
Perte au rouge	3.90	8.50	4.40
	100.00	100.00	100.00
c) *Soluble dans l'acide chlorhydrique.*			
Oxyde de fer	0.11	0.32	0.77

Profil VI. *Store Hareskov.* 2. District forestier de l'État de *Copenhague* (*Seeland*). — Enfoncement entre deux parties élevées, humide, mais sans eau dormante. Forêt de hêtres, âgée de 150 ans, élevée en futaie irrégulière, en très bon état de croissance dans la partie environnante, haut placée et riche en terreau du terrain ; à 2 ou 3 pouces (0^m,0523 à 0^m,0784), tourbe qui n'est pas remarquablement tenace ; à 5 pouces (0^m,1307), argile blanchâtre, uniformément colorée, à la place de sable plombifère ; à 5 pouces, terre rouge-brun argileuse ; les séparations entre les trois couches sont parfaitement

nettes. Le sous-sol est formé d'argile sableuse. Les échantillons de terre analysés ont été tirés d'un trou.

DÉSIGNATION des échantillons analysés.	ARGILE blanchâtre.	ARGILE rouge brun.	SOUS-SOL.
a) *Terre desséchée à l'air.*	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Pierres	0.00	0.00	0.00
b) *Terre desséchée à l'air et débarrassée de pierres.*			
Gravier	1.62	2.31	2.45
Sable grossier	67.98	66.01	63.65
Argile	26.87	26.16	22.45
Humus	1.12	1.52	1.21
Eau hygroscopique	0.77	1.11	2.01
Eau chimiquement combinée	1.12	1.61	2.81
Soluble dans l'acide chlorhydrique	0.52	1.28	5.42
	100.00	100.00	100.00
c) *Soluble dans l'acide chlorhydrique.*			
Acide silicique	0.038	0.050	0.057
— phosphorique	0.025	0.089	0.040
Oxyde de fer	0.336	0.976	5.115
Chaux	0.026	0.033	0.027
Potasse	0.097	0.135	0.186
	0.522	0.123	5.425

Profil VII. *Strandskov, Telgstrup, Hegn.* 1. District forestier de l'État de *Kronborg* (*Seeland*). — Plateau élevé, sec près de la pente de la montagne, dans les parties basses. Ancienne coupe d'ensemencement, ouverte, hêtres en partie à cimes desséchées (200 ans), trop petits, avec une croissance très restreinte. A 2 pouces (0^m,053), tourbe compacte et tenace ; de 3-4 pouces (0^m,0784-0^m,1046), sable plombifère ; 4 à 5 pouces (0^m,1046 à 0^m,1307), terre rouge : toutes les couches sont très denses, avec des délimitations très nettes. Le sous-sol est formé d'argile sableuse. Les échantillons de terre analysés ont été tirés de trois trous, distants l'un de l'autre d'environ 414^m,18 ;

chaque essai est fait sur un mélange des trois, qui représentent la même couche en trois endroits.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	TOURBE.	SABLE plombifère.	TERRE rouge.	SOUS-SOL.
a) *Terre desséchée à l'air.*	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Pierres	0.00	7.35	10.63	16.81
b) *Terre desséchée à l'air et débarrassée des pierres.*				
Gravier	0.74	1.25	1.15	2.21
Sable grossier	6 75	18.85	17.95	14.99
— fin	23.90	58.44	50.07	46.80
Argile	18.83	16.79	19.87	26.01
Humus	37.34	2.63	3.91	1.32
Eau hygroscopique	9.38	0.66	1.83	2.45
Eau chimiquement combinée	1.54	0.62	0.83	1.73
Soluble dans l'acide chlorhydrique	1.52	0.76	4.39	4.49
	100.00	100.00	100.00	100.00
Azote	0.876	0.069	0.109	0.072
c) *Soluble dans l'acide chlorhydrique.*				
Acide silicique	0.054	0.033	0.037	0.074
— sulfurique	0.083	0.017	0.027	0.018
— phosphorique	0.129	0.013	0.025	0.026
Oxyde de fer	0.648	0.412	1.456	2.048
Alumine	0.344	0.264	2.774	2.206
Chaux	0.096	0.010	0.038	0.034
Magnésie	0.048	0.008	0.024	0.026
Potasse	0.088	0.005	0.012	0.056
Soude	0.025	traces.	0.004	0.011
	1.515	0.762	4.397	4.449

Profil VIII. *Strandskov, Teystrup Hegn.* 1. District forestier de l'État de *Kronborg* (*Seeland*). — Plateau élevé, tout au bord de la forêt, tout près de la côte. Ancienne coupe d'ensemencement, ouverte, hêtres de 200 ans, bas, en partie à cimes desséchées, dans un

état de petite croissance. De 4 à 5 pouces (0^m,1046 à 0^m,1307), tourbe compacte et tenace ; de 6 à 7 pouces (0^m,1569 à 0^m,18307), sable plombifère blanc gris ; environ à 16 pouces (0^m,4284), terre rouge entièrement compacte ou sablonneuse, de couleur entièrement brun clair ou jaune brun, avec des filons et des taches brun foncé ; à travers la terre rouge passe un prolongement en forme de cheminée du sable plombifère qui descend dans le sous-sol. Toutes les couches sont nettement délimitées. Le sous-sol est formé d'argile fortement sableuse. Les échantillons de terre analysés ont été prélevés à différentes places d'un profil très large, de sorte que plusieurs essais représentent le mélange de deux échantillons. Les nombres admis pour la terre rouge représentent les moyennes de deux séries de recherches exécutées sur deux échantillons séparés et travaillés, dont l'un a été prélevé sur la partie claire et l'autre dans la partie foncée.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	SABLE plombifère.	TERRE rouge.	SOUS-SOL.
a) *Terre séchée à l'air.*	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Pierres	0.80	1.70	2.00
b) *Terre séchée à l'air et débarrassée des pierres.*			
Gravier	1.70	2.00	1.50
Sable grossier	19.90	21.45	29.00
— fin	68.10	69.40	54.70
Argile	8.90	3.85	11.80
Perte au rouge	1.40	3.30	3.00
	100.00	100.00	100.00
c) *Soluble dans l'acide chlorhydrique.*			
Oxyde de fer	0.05	0.47	1.32

Sol recouvert de tourbe portant une végétation de bruyères.

Profil XI. *Sonneruper Plantage.* District forestier d'État de *Odsharde* (*Seeland*). — Étendue de sable mouvant haut placée, près

de la mer; exceptionnellement sec, sur lequel croît une végétation misérable de bruyères et de plantes silicicoles.

Le terrain était vraisemblablement autrefois uniquement couvert de bruyères; mais le versant escarpé du côté de la mer, sur lequel on a prélevé les échantillons soumis à l'analyse, témoigne de ce fait que des parties importantes de ces dépôts considérables de sable mouvant ont été apportés par l'eau. La végétation des bruyères proprement dite, ainsi que leur tourbe, commence maintenant environ à 50 pas du bord escarpé. A 2 à 3 pieds ($0^m,6277$ à $0^m,9415$) de profondeur, on trouve un sable blanc avec une quantité assez considérable de particules indépendantes d'humus mélangées ensemble, de filaments de plantes, charbon humique, etc.; de 2 à 3 pouces ($0^m,0523$ à $0^m,0784$), une terre rouge, noir brun, sablonneuse, très dure; le sous-sol est du sable marin jaunâtre. Tous les profils semblables se présentent au fossé, sur d'autres places dans la partie de cette étendue de sable recouverte de tourbe et dans la partie sur laquelle croît la bruyère, comme aussi dans la bruyère de *Delling* qui n'en est pas éloignée. Les échantillons de terre analysés ont été prélevés à une place sur le versant.

DÉSIGNATION des éléments analysés.	SABLE plombifère.	TERRE rouge.	SOUS-SOL.
	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Humidité	0.67	1.56	0.24
Sable	97.03	95.65	98.99
Matière humique, presque exclusivement formée d'acide humique	1.98	2.05	0.31
Oxyde de fer	0.32	0.74	0.45
	100.00	100.00	100.00

Sols de bruyère jütlandais. — Les données analytiques publiées ci-après sont les résultats finals d'un travail publié en 1876 (*Einige Analysen von jütischen Haideböden,* Tidsskr. f. Skovbr. Bd. I) et dont il est parlé dans ce livre, page 138.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	TOURBE de bruyère.	SABLE plombifère.	TERRE rouge.	SOUS-SOL.
	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Colline de bruyères près Herning.				
a) *Terre séchée à l'air, exempte de pierres.*				
Gravier et sable grossier	46.45	89.00	70.84	87.52
Sable fin	3.87	4.37	2.70	2.90
Humus	36.03	2.80	12.02	2.59
Eau hygroscopique	6.05	0.53	4.48	1.12
Argile	6.66	2.81	5.80	2.50
Soluble dans l'acide chlorhydrique	0.94	0.49	4.16	3.37
	100.00	100.00	100.00	100.00
Azote.	0.587	0.038	0.170	0.027
b) *Matières solubles dans l'acide chlorhydrique.*				
Acide phosphorique	0.044	0.011	0.038	0.031
Alumine.	0.218	0.265	0.170	1.695
Oxyde de fer.	0.451	0.182	3.720	1.462
Chaux	0.088	0.007	0.096	0.039
Magnésie	0.053	0.005	0.032	0.040
Potasse.	0.055	0.017	0.032	0.084
Soude	0.032	0.005	0.037	0.021
	0.941	0.492	4.166	3.372
Vallée de bruyères près Herning.				
a) *Terre séchée à l'air, exempte de pierres.*				
Gravier et sable grossier	80.19	95.99	82.40	95.44
Sable fin	1.79	1.84	1.65	0.33
Humus	13.24	1.76	11.96	1.21
Eau hygroscopique	4.17	0.24	2.32	0.91
Argile	traces.	traces.	traces.	1.26
Soluble dans l'acide chlorhydrique	0.61	0.17	1.67	0.85
	100.00	100.00	100.00	100.00
Azote.	0.205	0.022	0.215	0.010
b) *Matières solubles dans l'acide chlorhydrique.*				
Acide phosphorique	0.029	0.005	0.039	0.008
Alumine.	0.382	0.086	0.804	0.191
Oxyde de fer.	0.142	0.053	0.791	0.632
Chaux	0.030	0.008	0.007	0.006
Magnésie	0.009	0.009	0.005	0.002
Potasse.	0.015	0.006	0.018	0.012
Soude	0.006	0.005	0.008	0.004
	0.613	0.172	1.672	0.855

II.

Sur les formes de l'humus dans les forêts de chênes et les landes (1884).

Depuis 1878, année où la première partie de ces études a paru, notre connaissance du sujet des présentes recherches a pris une extension considérable, par suite d'une série de contributions littéraires dues à différents auteurs.

Parmi les publications de ces cinq années, il faut compter au premier rang le grand travail de Charles Darwin sur l'activité des vers de terre au service de la formation de l'humus, par lequel les observations et les conclusions, qui formaient le point essentiel de la première partie de nos études, ont reçu un puissant appui, et, à la vérité, en partie directement par l'excellente œuvre de Darwin et en partie indirectement par l'importance que son nom célèbre pouvait donner à ces recherches, aussi bien que par les travaux critiques qu'il a occasionnés, parmi lesquels celui de Hensen est particulièrement important. Mais aussi la connaissance des procédés physiques et chimiques dans le sol, sur lesquels on avait également appelé l'attention dans la première partie, a reçu une grande extension par d'importantes contributions, comme, par exemple, les recherches de König sur le pouvoir absorbant des matières humiques.

Plus tard, la série d'études parue en l'année 1878 a provoqué même des remarques critiques d'autres auteurs, qui, de très nombreux côtés, ont apporté un éclaircissement à la question : ce qui est dû surtout à Emeis.

Enfin l'auteur lui-même, dans la *Letterstedschen Zeitschrift für Wissenschaft, Kunst*, etc., en l'année 1879, a donné une communication préalable, dans une petite note intitulée *Quelques traits de l'histoire naturelle de la forêt,* sur les résultats des recherches qui doivent être exposées dans cette seconde partie, et cette note a été introduite dans la littérature étrangère par le professeur Metzger dans les *Forstliche Blätter*.

Les conditions déterminantes qui ont servi de règle pour le plan

de la première partie de ces études, ont éprouvé un changement essentiel dans les cinq années écoulées, si bien que je projetai, en 1878, de travailler sur un domaine tout à fait inconnu, et c'est d'après cela que j'organisai le plan d'exposition. Comme les recherches ne s'appuyaient pas directement sur les communications d'un prédécesseur, je fis de ma propre série d'observations les bases de ce travail, tandis qu'une recherche de ce genre débutant d'ordinaire par une discussion (*Orientirung*) des travaux antérieurs faits sur le même sujet, le développement se poursuit d'après des connaissances déjà acquises. Pour la présente contribution, cette forme traditionnelle aurait pu être employée avec succès aujourd'hui ; mais cependant notre désir de conserver la même forme aux deux parties du travail nous a conduit à adopter le même plan.

Au même degré que pour la première, les recherches du professeur Tuxen ont apporté une contribution importante à cette seconde partie, et je me fais un devoir d'exprimer ici mes remercîments les plus affectueux à mon infatigable collaborateur pour son assistance merveilleuse et toujours prête. Les déterminations qu'il a entreprises à ma requête sont communiquées dans un appendice particulier à la fin de ce mémoire.

Des travaux professionnels et littéraires d'un autre genre ont retardé la publication de ces études qui, en réalité, étaient déjà terminées il y a deux ans.

OBSERVATIONS

La forêt de chênes.

Les différentes formes sous lesquelles se présente, en Danemark, la forêt de chênes naturelle ont été soumises par Vaupell à une étude si habile et si exacte, qu'une étude poussée plus loin de ces formes intéressantes ne peut, excepté pour des faits particuliers, amener à une expression plus nette que celle que cet auteur a donnée pour les traits essentiels. La courte discussion qui suit sur les formes principales de la forêt de chênes doit, à cause de cela, être considérée avant tout comme une récapitulation de données connues pour

la plus grande partie, mais pourtant nécessaires à l'intelligence des chapitres suivants.

Les recherches de Steenstrup et de Vaupell, confirmées par des observations variées d'autres auteurs, éparses et notées seulement en partie dans la littérature, ont établi que notre pays était autrefois recouvert d'une végétation de forêts de chêne étendues et réunies ensemble. Plus tard, Vaupell nous a montré que la cause principale de la disparition des forêts de la plus grande partie du pays, après l'intervention de l'homme, devait être cherchée dans la relation du chêne avec d'autres arbres et particulièrement avec le hêtre, qui, partout où il immigre dans des emplacements qui lui permettent un développement puissant, a supplanté le chêne. Enfin, il est reconnu que les places où les forêts de chêne se sont maintenues le plus longtemps avec leur forme d'origine jusqu'à notre époque, sont les sols argileux, durs, fertiles, frais jusqu'à l'humidité, ou mouillés, tout aussi bien que les sols sableux secs du Jütland moyen. De toutes les formes intermédiaires entre ces emplacements au plus haut point différents, les forêts de chênes ont si complètement disparu, par suite de l'invasion progressive du hêtre, qu'à part de vieux chênes disséminés dans les forêts de hêtres, il n'en est resté qu'un petit nombre qu'on trouve par hasard çà et là. Du temps de Vaupell, il y avait encore, dans la plupart des contrées, une grande quantité de chênes isolés dans les forêts de hêtres; mais dans les trente dernières années, le nombre de ces restes intéressants de forêts de hêtres d'une époque disparue a été très limité, sur de tels emplacements du centre, par une forte exploitation.

Une étude de la forêt naturelle de chênes, en Danemark, doit donc s'occuper de deux types principaux, c'est-à-dire celui qui est chez lui (*zu Hause ist*) sur un sol argileux ou alumineux, dur et humide, et aussi celui qui croît sur le sol sableux sec et maigre du Jütland central qui, d'ailleurs, pour la plus grande partie, appartient à la lande.

Les forêts de chênes sur les sols argileux ont été, de préférence, l'objet des recherches de Vaupell, et je n'ai rien à ajouter à l'excellente description qu'il en a faite. Elles concernent, comme on sait, surtout des arbres à basse tige; avec de larges couronnes très espacées, si bien que le nombre des vieux chênes dépasse à peine 50 par



Fig. 11. — Chênes pédonculés dans le sous-bois de Hasel de Enghave près Svendstrup (Seeland) (d'après Vaupell).



hectare. Leur forte ramure et leurs formes puissantes, tortueuses, représentent une série de particularités locales, dues vraisemblablement en partie à l'influence qu'exercent sur la forme le sol et la rivalité d'autres essences forestières, et, en partie, à l'espacement des chênes et à l'histoire de leur développement. Leur hauteur est, en général, assez considérable ; dans quelques forêts, elle ne dépasse pas, en réalité, 40 pieds (12^{m},55), alors que dans d'autres elle atteint 18^{m},88 à 21^{m},96 de bois. Caractéristique pour ces forêts est le sous-bois, dans lequel le noisetier joue le rôle principal, tandis qu'à quelques places il est formé d'aubépine ou bien d'aupébine mélangée à du coudrier. A cela viennent s'ajouter, en quantité plus ou moins grande suivant l'emplacement, une série d'autres arbres ou arbrisseaux, parmi lesquels la bourdaine, le sureau et le charme sont les plus importants. Là où ce sous-bois est resté en quelque sorte sans dérangement, il forme un épais hallier sous les chênes ; ou quand il est plus vieux, un dais de feuillage bas, mais épais et ombreux, sur lequel les chênes élèvent leur couronne comme un deuxième étage. Nous avons emprunté la figure caractéristique 11 pour l'illustration de ce type de forêt à Vaupell.

Les forêts de chêne sur le sable de lande maigre du Jütland n'ont pas été étudiées d'une façon aussi complète par Vaupell que les forêts de même espèce sur les sols argileux, et comme elles ont une importance particulière pour la présente recherche, nous voulons essayer d'en donner ici une description plus complète.

La plus importante et la plus intéressante de ces forêts de chênes est celle de Hald, au sud-est de Viborg, d'une superficie de 254 hectares. La meilleure partie de cette forêt se tient sur un terrain plat, assez bas placé et elle est couverte d'arbres bien conformés, âgés de 100 à 200 ans et d'une hauteur de 40 à 50 pieds (12^{m},55 à 15^{m},69)[1], qui çà et là sont mélangés avec des classes d'âge plus jeunes, c'est-à-dire de 40 à 50 ans. La fin du peuplement est tout à fait voisine du peuplement de hêtres sur le sol argileux. Les tiges ne sont pas longues et se touchent rarement l'une l'autre. La hauteur n'est, à la

1. Je dois les mesurages d'âge, de grandeur et d'accroissement des chênes dans la forêt de Hald, que je communique ici, aux recherches du candidat forestier A. Steen.

vérité, pas beaucoup plus petite que celle de beaucoup de forêts de chênes des îles sur un bon sol, mais les dimensions de la tige sont plus petites, ordinairement 12 à 24 pouces ($0^m,313$ à $0^m,627$); la moyenne de la hauteur de 10 tiges sans écorce se montait à 4 pieds 17 pouces ($1^m,595$) au-dessus de la terre.

A celui qui est habitué à voir les forêts des îles et du Jütland oriental, la végétation dans ces forêts de chênes sur sol sableux doit faire l'impression de la pauvreté, même de la ruine. Mais une étude plus attentive montre que cette première impression se justifie difficilement. Il y a, dans la meilleure partie de la forêt de chênes de Hald, une plénitude dans la végétation arbustive, qui doit surprendre quand on prend en considération la pauvreté du sol. Beaucoup d'arbres, âgés de 100 à 200 ans, ont des couronnes fraîches et pleines, et leur accroissement est relativement un peu plus petit que celui des arbres du même âge sur de meilleur sol. Il en est de même pour la forêt de chênes près de Södal, au nord de Viborg et de Skindbjerglund dans Amte Aalborg. Le candidat forestier Steen a trouvé, dans la forêt de chênes de Hald, un accroissement annuel moyen de $0^m,53$ p. 100 pour 10 tiges, dont le diamètre moyen pour une tige dépouillée de son écorce à hauteur d'appui est 16,8 pouces ($0^m,265$) et dont l'âge, d'après l'examen fait sur 6 arbres, atteignait 150 à 200 ans et même plus. Un arbre type (chêne rouvre) examiné avec beaucoup de soin, dont l'âge avait été évalué à 116 ans, donna (en abrégé) les résultats de mesure suivants [1]:

AGE.	HAUTEUR.		MASSE.	ACCROISSEMENT annuel.
	Pieds.	Mètres.	Pieds cubes.	P. 100.
6 années	2,1	(0,631)	0,001	
26 —	16,5	(5,084)	0,213	9.9
46 —	22,3	(6,371)	1,36	7.3
66 —	31,5	(9,478)	3,70	4.7
86 —	41,9	(12,931)	10,76	4.9
106 —	45,1	(14,154)	19,25	2.8
116 —	46,1	(14,468)	24,08	2.2

1. Comme il n'existe dans notre littérature que très peu d'autres mesurages des chênes de ces forêts qui ont malheureusement bientôt perdu leur empreinte d'origine, s'ils ne restent pas conservés comme monuments historiques, nous ajouterons

Cette tige montre que l'accroissement de la hauteur, aussi bien que celui de la masse, même à un âge de 100 ans, est relativement fort ; l'arbre a eu toute sa force d'existence. Les branches dépouillées de leur écorce mesuraient 20,6 pieds cubiques et l'arbre entier avec l'écorce environ 51 pieds cubiques, environ une corde, ce qu'on doit trouver remarquable si l'on considère la nature du sol. Si le résultat n'a pas été encore plus favorable, cela tient sans doute en partie à la marche du développement des arbres dans ces forêts. Le jeune bois n'a pas pu faire des progrès, à l'exception des places où un vieil arbre a été renversé ou abattu à coups de hache ; il y a un long retard dans le développement par suite du manque de lumière et ce n'est qu'après une longue et dure lutte, qu'un seul arbre obtient la domination dans un pareil groupe. Beaucoup de places dans la forêt de chênes de Hald fournissent encore des commentaires riches en enseignement sur les conditions d'existence dans les premiers temps des vieux arbres, en montrant de tels groupes restreints d'arbres plus jeunes. Même, de la marche de l'accroissement chez l'arbre type, il ressort clairement qu'aussi le développement de cet arbre a été le développement ordinaire sous ce rapport ; pendant 20 ans au moins, entre 40 et 60 ans d'âge, il s'est maintenu sous la pression de voisins plus grands.

Ces données ont été citées à l'appui de l'opinion absolue de l'auteur sur la prospérité actuelle de ces forêts. Quoiqu'elles consistent seulement en restes peu considérables, les meilleures parties ne font en aucune façon l'impression d'une végétation dont la force vitale a été brisée ; si elles ont disparu, cela tient à ce qu'elles ont dû entrer en guerre avec des puissances étrangères et non à leur propre dégénération. A peine peut-on émettre un doute sur ce fait que les bonnes parties des forêts de chênes de Hald et de Södal, qui portent encore des arbres biséculaires (le nombre des couches annuelles étant compté sur la tige) et du joli petit *Skindbjerglund,* en ce qui concerne le développement des chênes, nous donnent une

encore deux nombres d'après les mesures faites par Steen : coefficient de forme de la tige (du diamètre à 1/20e de la hauteur), 0,412, de l'arbre entier 0,765 ; le rapport d'assortiment (*Sortirungsverhältniss*) était : 48.9 p. 100 de bois de corde ; 23.9 p. 100 de rondins et 27.2 p. 100 de ramules.

image des vieilles forêts de chênes jütlandaises sur le sable d'alluvion, qui, par rapport à l'aspect qu'elles offraient à l'époque la plus puissante, il y a des siècles, ne sont pas en réalité inférieures en plénitude, quoiqu'elles soient naturellement pauvres en arbres très vieux et grands, parce que ceux-ci étaient tombés depuis longtemps [1].

Vaupell cite [2] que de l'essence de chêne rouvre (*Q. sessiliflora*) il ne reste que « quelques arbres » à Hald et que la plus grande partie de la forêt consiste d'ailleurs en chênes pédonculés (*Q. pedunculata*). Il n'est pourtant pas invraisemblable que le chêne rouvre joue, dans les forêts de Hald, un rôle un peu plus grand qu'on devait l'admettre d'après les jugements de Vaupell. Nous donnons, dans la figure 12, une image obtenue partiellement par la photographie d'une partie de la forêt de chênes de Hald, avec une représentation photographique fidèle de deux chênes rouvres, dont les branches relativement minces et grêles donnent à cet arbre une forme moins ramassée et noueuse que celle du chêne pédonculé, et, par cela, contribuent en même temps à donner à la forêt un aspect un peu différent des autres forêts de chênes.

Le sous-bois, dans la forêt de chênes de Hald, consiste, comme l'admet Vaupell, en bosquets de genévriers. Ce sous-bois est passablement clair et incohérent, forme çà et là un fourré fermé plus grand et atteint une hauteur de 41^{m},418, rarement de 55^{m},224; dans les bonnes parties de la forêt, il est fréquemment mélangé à une jolie végétation de fougère-aigle (*Adlerfarn*). Il ne me paraît pas vraisemblable que ce caractère du sous-bois ait été celui d'origine [3]. Dans les autres contrées forestières jütlandaises, particulièrement au voisinage de la maison de chasse, dans le bois de Mylenberg (Rold), se trouvent de grands halliers de hauts arbrisseaux de genévriers impénétrables qui, bien que, de mémoire d'homme, aucun chêne n'ait existé dans ces étendues de forêts, peuvent cepen-

1. Un cercueil de chêne, datant de l'âge de bronze, déterré par le Dr H. Petersen, en 1883, dans Hirchspiel-Hovert, au nord-est de Herning, montre quelles puissantes tiges de chêne a produites ce sol. Ce cercueil consiste en un bloc de chêne droit et symétrique d'environ 69 mètres de long et 1^{m},18 de diamètre.

2. *De danske Skove*, 1863, p. 25.

3. Cette opinion a été plus tard entièrement confirmée.



Fig. 12. — Partie de la forêt de chênes près **Hald** (**Jütland**) ; au premier plan, deux chênes rouvres avec un sous-bois de genévriers.

dant être le résidu de l'ancien sous-bois existant sous des chênes. Autant que possible, dans la forêt de Hald et à Skindbjerlund (où le sol est en grande partie nu), on enlève du pâturage la moitié du hallier de genévriers ou bien le bétail le détruit. Quoique le sous-bois dans la forêt de Södal consiste principalement en noisetiers de croissance très puissante, cependant, la grande quantité de genévriers, qui se trouvent aussi bien détruits dans les forêts de chênes que dans les landes, montre que cet arbrisseau, dans les grandes étendues de forêts maintenant transformées en surfaces de landes, ont eu une grande extension et qu'il a eu, comme aujourd'hui à Hald, la prépondérance dans le sous-bois à la plupart des places. Aussi, dans les forêts de chênes le genévrier peut jouer un rôle semblable et il y a, par exemple, des parties sableuses de la forêt de Fontainebleau qui rappellent la forêt de chênes de Hald.

La forêt de chênes en décadence. — Lorsque, partant de Smedegaard, qui se trouve à environ 30 mètres au-dessus de la mer à la frontière nord-est du Langskov oriental, près Hald dans le Jütland, on s'avance dans la direction Sud-Ouest, on monte sur une ligne d'environ 900 mètres, peu à peu et régulièrement, jusqu'à une hauteur de 60 mètres. Sur la première moitié de cette ligne, qui en même temps est la moitié de la hauteur, la forêt est pour la plus grande partie bien portante et l'image que nous avons donnée plus haut des forêts de chênes sur le sol sableux en est la représentation exacte. Mais, sur l'autre moitié du chemin, on remarque une forte décadence de la forêt ; les tiges des arbres sont de plus en plus courtes , leur cime est souvent desséchée et sur le petit plateau à une hauteur d'environ 60 mètres, aussi bien que sur les pentes douces du talus, la forêt est ouverte vers le N.-O., O. et S.-O., le peuplement est imparfait et les arbres sont en piteux état et rabougris.

Le sous-bois est formé de futaies imparfaites, quoiqu'on ait trouvé encore quelques bons arbrisseaux de genévriers. Les conditions d'existence extrêmement modestes, en relation avec celles du sol, une puissante et jolie végétation, qui prédominait sur la partie basse, ne se trouvent pas sur la partie plus haute ; la forêt est évidemment fortement tombée en décadence ; ce qui est dû principalement,



Fig. 13. — Lisière occidentale de la forêt de chênes près Hald (Jütland central) ; les tiges mortes sont entourées aux racines de brout frais, le sol qui les sépare est recouvert d'une végétation de haute bruyère. (D'après une photographie)

comme le montre clairement une observation poursuivie, à l'action du rude vent d'Ouest.

Si l'on pousse plus avant dans cette direction, on arrive alors, environ 400 mètres plus loin, à la limite sud-est de la forêt qui se trouve à dix mètres plus bas que le côté du talus. Là, la destruction est complète : les arbres sont encore plus courts et plus noueux, les couronnes fréquemment tout à fait mortes, et les branches fraîches se trouvent vers l'Ouest. Enfin, le bord extérieur ouvert n'est formé que d'arbres morts, comme on le voit dans la figure 13. Pourtant, ces chênes ne sont pas complètement morts ; enfin, les tiges du côté extérieur ouvert de la forêt, mortes et en partie sans écorce, sont presque toutes entourées à leur pied d'un épais bosquet, formé par un brout de morceaux de racines encore frais (fig. 13). Plus loin, encore vers l'Ouest, un pareil bosquet n'a pu rester que s'il n'y a pas eu de défrichement, les tiges pourries sont renversées ; la forêt a pris ici la forme si particulière aux landes jütlandaises qui est, d'après les communications d'un grand nombre d'explorateurs de landes, connue sous le nom de *Krattbusch,* en danois : *Purkrat.* Les recherches de Vaupell et d'autres ont mis hors de doute que ces broussailles (*Gestrüpp*) qui gisent éparpillées dans la plus grande partie des régions de landes du Jütland, mais qui pourtant se trouvent principalement sur les buttes, et qui recouvrent encore une surface de 2,800 hectares [1] sur des places conservées au mieux et bien fermées, sont le résidu des anciennes forêts de chênes. Le VesterLangskov, pres Hald, nous montre dans les traits principaux l'histoire de sa formation, et les autres forêts de l'Est du Jütland que j'ai pu examiner, représentent à nouveau la partie essentielle de la même série de périodes. Il est reconnu que la végétation rabougrie des chênes des landes a un développement très différent de forêts considérables et élevées en futaies pleines, de rejets de 20 à 30 pieds (6^m,277 à 9^m,655) et de petits halliers de 1 à 2 pieds (0^m,314 à 0^m,628) de hauteur, disséminés et même presque isolés dans la bruyère.

Après ce court examen des traits principaux du caractère de nos forêts de chênes naturelles qui, en grande partie, n'est qu'une com-

1. *Tidssk. f. Skovbr.,* t. V, p. 59.

paraison avec les conditions déjà connues, nous passons à l'exposition du sujet particulier de nos recherches : le sol des forêts de chênes.

Le sol des forêts de chênes.

Le terreau de la forêt de chênes sur le sol argileux. — Dans nos forêts de chênes, sur le sol argileux, aussi loin que s'étendent mes connaissances, on trouve toujours du bon terreau. Si le sous-bois existe en futaies pleines, la couche graveleuse, poreuse, gris brun, qui se trouve immédiatement au-dessous de la couverture décomposée et qui passe imperceptiblement à la couche inférieure de couleur claire, peut atteindre une puissance considérable. Le sol possède à de telles places une fertilité supérieure ; s'il est fortement ombragé, il est alors ou presque nu, ou bien recouvert d'une végétation éparse d'herbes et de beaucoup de végétaux fleurissants, qui, sur un sol frais et puissant, sont l'ornement de ces forêts. Tout forestier admettra qu'aucun emplacement n'est aussi favorable pour la régénération, qu'une pareille forêt de chênes, quand le sous-bois est coupé ou éclairci. Si le sous-bois manque ou est trop clairsemé pour couvrir le sol, une végétation herbacée s'installe, offrant toutefois des conditions beaucoup moins favorables pour la création d'un sous-bois (*Unterpflanzung*), mais celle-ci a rarement à lutter avec des difficultés. La couche de terre superficielle renferme toujours du terreau, quoique aussi la quantité de celui-ci puisse fortement diminuer. Mais je n'ai jamais trouvé dans les forêts de chênes une indication de formation de tourbe sur de meilleur sol, tandis que dans les forêts de hêtres une partie du pays est tout à fait privée de formation de tourbe par places.

Sous le terreau, le sol a tout à fait la même empreinte que sous le bon terreau des forêts de hêtres. D'abord, vient la couche supérieure du sous-sol parfaitement meuble, dont la couleur varie du jaunâtre ou jaune-brun au brun ; puis, au-dessus, où il se transforme graduellement et entièrement en terreau graveleux, il est un peu plus sombre. La couleur est homogène et un profil de la terre ne montre dans cette couche aucune autre nuance de coloration qu'un ton brunâtre s'affaiblissant plus ou moins vite de la partie superficielle jusqu'au sous-sol.

La couleur de la couche supérieure du sous-sol varie du gris au gris blanc ; cette couche est irrégulièrement colorée et souvent si dure qu'elle se laisse difficilement creuser ; malgré cela, elle se laisse parfois, surtout quand elle est humide, briser au hoyau. Sous cette couche, sur laquelle nous reviendrons plus tard, qui paraît faire défaut plus fréquemment sur les sols argileux très durs, se trouve le sous-sol irrégulièrement coloré de notre argile d'alluvion beaucoup plus facile à travailler que la couche blanchâtre sus-jacente, mais qui pourtant a tout à fait l'ameublissement et l'uniformité de la couche supérieure du sous-sol.

Le terreau de la forêt de chênes sur les sols sableux. — On osait affirmer que le terreau est la forme des dépôts humiques qui se rencontre le plus fréquemment dans les forêts de chênes sur le sable jütlandais. Le terreau du sol de ces forêts se reconnaît déjà à la végétation qui le recouvre et qui, sans former une couverture végétale cohérente avec le réseau de racines dans la croûte terrestre est extraordinairement riche, surtout en espèces, et forme, par sa magnificence de couleurs, au commencement de l'été, un contraste frappant avec la végétation, peu abondante et pauvre en espèces, du sol recouvert de tourbe.

Caractéristique pour le terreau de la forêt de chênes sur le sol sableux, est une des plantes qui distinguent aussi le terreau dans les forêts de hêtres, c'est-à-dire l'anémone. Mais, en dehors de celle-ci, se trouvent : le trèfle (*Trifolium medium*), la violette (*Viola canina*), la vesce (*Vicia Cracca*), le pois plat (*Lothyrus macrorrhysus*), l'herbe de Saint-Jean (*Hypericum perforatum* et *quadrangulum*), le caille-lait (*Galium saxatile*), la campanule (*Campanula rotundifolia* et *persicæfolia*), le mors du diable (*Succisa pratensis*), différentes espèces de graminées, comme l'herbe de cheval (*Holcus mollis*), enfin le *Caprifolium* et différents autres. Les plantes suivantes sont moins caractéristiques que les précédentes pour le terreau bien défini, ou se trouvent en même temps sur le sol de tourbe : le mélampyre des champs (*Melampyrum pratense*), la tormentille (*Potentilla tormentilla*), et *Aira flexuosa*, qui pourtant fait complètement défaut à beaucoup de places sur le terreau ou bien n'existe que pauvrement.

Nos essences forestières ordinaires croissent, suivant les circons-

tances, bien et même très bien dans le sable-terreau (*Sandmull*) qui se trouve dans ces forêts de chênes. Il y a de nombreux exemples de la réussite complète des épicéas dans ce pays, tandis que seulement quelques pas plus loin, sur la tourbe de lande, en dehors des limites du hallier ou du sous-bois, par exemple à Skarrild Krat, à Viborg Krat et à beaucoup d'autres endroits, ils languissent pendant des années et sont inférieurs en croissance. Mais le hêtre progresse aussi fort bien. Ainsi, on trouve dans les forêts de chênes de Hald, des hêtres, en partie plantés, en partie semés naturellement, d'âge très différent, qui tous, au moins dans les trente ou quarante premières années, sont en très bon état de croissance. Dans Södal Vesterskov se trouvent de très jolies plantations de hêtres, dont, pour une partie, l'âge varie entre 5 et 12 ans, et, pour l'autre, atteint 40 ans, dont le dévelop pement et la forme ne restent pas en arrière des hêtres qui viennent sur le sol moyen des côtes de l'Est. Enfin, à Skindbjerglund, existe une petite plantation de hêtres, âgés de 10 à 15 ans, en parfait état, sur le sable de lande ordinaire qui, s'il contient un excédent de terreau, peut produire une forêt de hêtres réellement jeune. On a déjà dit que le noisetier, qui pourtant doit être considéré comme très exigeant, vient très bien ici, et, à la vérité, sur l'espèce la plus pauvre de terreau sableux (*Sandmull*) (parties dans Södal Vesterskov), dont la figure 5 du tableau III donne une image.

Quoiqu'il existe à peine une différence essentielle entre les formes du terreau dans ces forêts, je veux cependant, pour donner un aperçu complet, décrire trois espèces de sols qui présentent certaines divergences. Tous ces sols ont comme caractère commun une superficie parfaitement poreuse, de structure graveleuse, que recouvrent des restes de déchets (*Abfallreste*) morts de la forêt et portent une végétation de plantes caractéristiques du bon terreau.

La forme la plus normale du sol dans ces forêts de chênes, qui concorde le mieux avec le sol de terreau sur l'argile d'alluvion, est représentée sur le tableau III, figure 1. Sous la superficie à petits grains, gris clair par le temps sec, gris sombre par le temps humide, se trouve, à une profondeur de 5-7-10-12 pouces ($0^{m},130$-$0^{m},183$-$0^{m},261$-$0^{m},287$), la superficie du sous-sol plus poreuse, cou-

leur de terreau (fig. 1, *a*), qui se transforme insensiblement, au fur et à mesure que la profondeur augmente, en un sous-sol jaune d'ocre. La couleur du terreau s'affaiblit toujours quand la profondeur augmente ; mais les limites entre la couche supérieure du sous-sol (terreau) et le sous-sol se laissent en quelque sorte déterminer. J'ai trouvé cette forme de terreau aux meilleures places dans les forêts et dans les boqueteaux, comme dans la forêt de chênes de Hald, à Skindbjerglund, à Rindsholm Krat et sous les touffes de chênes à Skarrild Krat. Quoique la limite de la partie supérieure du sous-sol ne se trouve pas partout à la même profondeur, elle est cependant très peu différente dans le même emplacement, quand la conformation du terrain n'est pas changeante.

La forme la plus proche du sol (Tableau III, fig. 2) peut à peine se distinguer de la précédente par la considération de la superficie ; seulement la couche supérieure du sous-sol qui a la nature du terreau, paraît perdre plus rapidement sa couleur de terreau et est en tout un peu plus claire. Mais, immédiatement au-dessous, le sous-sol se montre coloré faiblement en brun, dans une zone de 5 à 8 pouces ($0^m,1307$ à $0^m,209$) d'épaisseur. Parfois, la différence de coloration entre cette zone et la couche plus profonde de sable jaune est si faible, qu'on ne la remarquerait pas du tout, si on ne l'avait vue s'accuser plus fortement à d'autres places. On démontrera plus tard que la coloration de cette zone est due, sans aucun doute, aux acides humiques ; cette zone est la première trace faible d'une formation de terre rouge ou d'*Ortstein*. Le profil (*Bodenprofil*) du sol de boqueteaux, recouvert de terreau, correspond très souvent à celui représenté par la figure 2 ; j'ai trouvé, par exemple, la couche plus brunâtre à une profondeur comprise entre 10 et 18 pouces ($0^m,261$ et $0^m,471$) à Viborg Krat, à une profondeur comprise entre 7 et 13 pouces ($0^m,183$ et $0^m,340$) sous les touffes de chênes à Findskov Krat et à une profondeur comprise entre 5 et 10 pouces ($0^m,1307$ à $0^m,261$) sous les touffes de chênes à Skarrild Krat.

Il est arrivé assez souvent qu'en donnant un coup de bêche dans le terreau de forêt poreux, dont la superficie et la végétation n'offraient en aucune façon des rapports différents, on est surpris de voir apparaître un sable presque blanc comme la neige, surpassant

à peine en blancheur le sable plombifère (Tableau III, fig. 5). Des recherches poursuivies montrent bientôt qu'il y a là encore une forme de terreau de hallier (*Gebüschmull*), seulement avec cette différence qu'ici la partie supérieure du sous-sol est encore plus pauvre en humus que la même partie du sol représenté par la figure 2. Il est presque entièrement dépourvu de combinaisons humiques, et, comme le sable plombifère normal, il a perdu la plus grande partie de sa teneur en fer. Toutes les formes de transition entre les variantes figures 1, 2 et 5, qui doivent être conçues comme des différents degrés de développement du même état dans le sol, se laissent découvrir à une courte distance l'une de l'autre. Mais, là où la forme de la figure 5 existe, la couche supérieure du sous-sol plus sombre, colorée par des acides humiques, apparaît plus fortement que dans la forme représentée par la figure 2, *b*. Pourtant, il n'est pas encore question ici d'une formation particulière de terre rouge ou d'*Ortstein* ; la couche a tout à fait la même consistance que le reste du sous-sol sableux, jaune d'ocre. J'ai trouvé cette couche supérieure tout à fait décolorée en plusieurs endroits dans la forêt de chênes de Hald, dans la forêt de Södal et dans le Skindbjerglund, sur des parties plus ou moins grandes, dans les formations de terre décrites plus haut.

Formations de tourbe dans les forêts de chênes. — Quoique, aussi loin que se sont étendues mes recherches, le terreau soit la forme la plus commune des dépôts humiques dans les forêts de chênes et sous les *Krattbüsche* isolés sur le sable du Jütland Est, il existe pourtant aussi çà et là des formations de tourbe, même d'une puissance très considérable.

J'ai trouvé ces formations, avec leur expression la plus forte, aussi bien comme développement que comme extension, dans le Langskov oriental, près Hald. Si l'on poursuit son chemin sur la ligne dont on a parlé de Smedegaard vers le Sud-Ouest, on rencontre bientôt le commencement d'une faible formation de tourbe, avec une végétation d'airelle myrtille et *Trientalis*, parmi lesquels se trouvent aussi le *Majanthemum*, et çà et là en même temps le *Melampyrum pratense* et la *Potentilla Tormentilla*. Mais, plus on monte et plus on avance vers le Sud-Ouest, la tourbe devient toujours plus épaisse et

sur le plateau et le talus occidental se trouvent des couches de tourbe d'une puissance de 5 pouces (0^m,1307), et il faut descendre à une profondeur de 20 à 24 pouces (0^m,523 à 0^m,6276), avant qu'on pénètre à travers l'*Ortstein,* épais et dur comme la pierre.

Outre la forêt de chênes de Hald, j'ai trouvé des formations de tourbe dans le boqueteau de Funder, qui recouvre la pente sud escarpée des hauteurs considérables sur lesquelles est perché le village de Funder avec ses terres fertiles. La pente sud du côté de la vallée du ruisseau de Funder est formée de sable de lande typique et sur le sol forestier, sur lequel se trouvent ces talus, extraordinairement secs et chauds, existe un commencement de formation de tourbe ; ce qui a produit pourtant des couches trop minces et peu homogènes ; la forme d'humus a un caractère tout à fait semblable par places dans les autres boqueteaux et sous des parties ouvertes, en voie de rétrogradation, où la croissance est rabougrie.

Une recherche des éléments constitutifs de la couche de tourbe de la forêt de chênes présente des difficultés beaucoup plus grandes que la détermination des mêmes conditions relatives pour la forêt de hêtres et la lande. Quand on pénètre en creusant dans la masse noir brun, épaisse de 5 pouces (0^m,1307), qui recouvre le sol sur le plateau dont on a parlé dans la forêt de chênes de Hald, la masse grasse, sans structure et épaisse, apparaît : seules, quelques racines plus grandes opposent une résistance à la bêche. Par un examen plus attentif fait à la loupe, on constate une divergence évidente entre les formations correspondant aux forêts de chênes et à la lande. D'abord, la couche n'a pas du tout la structure lamelleuse de la tourbe de hêtres ; de plus, on ne trouve ici qu'un petit nombre de restes bien conservés des déchets de la forêt, qui existent en si grand nombre dans la couche de tourbe de la forêt de hêtres. La masse s'approche le plus de la tourbe de marais (*Moortorf*) amorphe, tandis que la structure de la tourbe de hêtres rappelle celle des couches superficielles de la tourbe de nos marais, dans laquelle des couches de Sphagnum et d'Hypnum bien conservées, sont mélangées avec les feuilles et les tiges des arbres et des plantes frutescentes. Enfin, l'épais réseau de racines de la tourbe de hêtres et de landes, qui ordinairement traverse complètement toute la masse de ces formes

d'humus même sur chaque petite surface, fait aussi complètement défaut ici. Parmi les plantes vivaces, phanérogames, dont les racines forment un tissu dans la tourbe de hêtres, il m'est arrivé d'indiquer les chênes, le genévrier et l'airelle myrtille, qui, tous, peuvent former par places des masses très épaisses. Ces masses sont tissées par les mycéliums connus, brun noir, qui pour nous, caractérisent ici la tourbe de hêtres et qui aussi se trouvent en une masse extraordinaire dans la tourbe de chênes, en beaucoup d'endroits. Mais, quoiqu'un grand nombre de racines mortes, principalement celles de l'arbrisseau d'airelle myrtille et du chêne, regorgent d'une croissance chevelue épaisse, confuse, hérissée et noire de ces mycéliums, ils ne forment pourtant pas partout une partie aussi essentielle de toute la couche que dans le terreau de hêtres. Mais, d'autres tissus de champignons clairs comme de l'eau et facilement éphémères existent en de plus grandes masses et forment souvent des coussins bien conformés et étonnamment épais. Mais la partie tout à fait prépondérante de la tourbe de chênes consiste, ainsi que le montre l'observation microscopique, en le plus fin détritus organique, généralement formé de grains plus ou moins grands et de gravier, de telle façon qu'on ne peut mettre en doute que ce sont des excréments animaux. Entre ceux-ci, se trouvent déposés le peu de restes végétaux et animaux qui montrent encore une structure nette. A la vérité, les excréments ne manquent pas dans les autres formes de tourbe, mais ils jouent ici, dans toute la masse, un rôle infiniment plus secondaire.

Bien qu'ainsi le terreau de chêne examiné atteint la même puissance et a la même influence sur le sol que la tourbe de hêtres et de landes, il reçoit l'empreinte d'un caractère particulier par la vie organique de l'emplacement. La forêt de chênes n'étant pas, à ce qu'il semble, comme la forêt de hêtres, en état de concentrer le tissu de racines dans la masse de déchets déposée sur la superficie, il en résulte que le facteur qui sert de ciment fait défaut, et c'est pourquoi la couche se compose principalement de déchets. Le caractère d'excréments animaux que possèdent ceux-ci au plus haut degré peut difficilement s'expliquer par l'activité des animaux même vivant dans la couche ; enfin, la vie animale ne revêt ici seulement qu'un petit

nombre de plus grandes formes et est représentée principalement par quelques larves d'élatères vraisemblablement radicivores, à l'exception d'une petite espèce de hanneton et quelques myriapodes. Cela me conduit à penser que ces couches doivent être envisagées comme des tas d'excréments de toute la vie animale et riche du boqueteau qui se trouve sur la terre et que la feuille qui tombe à l'automne à la superficie de la terre doit être consommée ; par suite, les évacuations sont liées à une masse en fermentation de différentes espèces de mycélium.

Quoique le terreau de chênes examiné paraisse, sous beaucoup de rapports, semblable au terreau d'insectes des forêts de hêtres décrit, la nature de la masse est pourtant tout autre et n'a qu'une faible analogie avec les couches poreuses d'excréments d'insectes, semblable à de la sciure de bois, qui se présentent si souvent dans les forêts de hêtres et sont sans doute principalement le résultat de la vie même des insectes fourmillant dans la couverture.

Le sol des landes.

Le sol de landes recouvert de tourbe. — Dans ce qui précède, on a décrit les phénomènes déjà connus de la dégénérescence des forêts de chênes et de leur transformation en taillis de chênes à croissance rabougrie sur la lande ; au contraire, les transformations importantes du sol, qui prenaient une part à ce procédé de dégénérescence, attribuée par d'autres à l'influence du vent d'Ouest, paraissent avoir échappé à l'attention des premiers explorateurs.

Le sol de landes typique, tel qu'il existe sur la plus grande partie des étendues de landes du Jütland Est, qui couvrent tout aussi bien les parties élevées que les vallées, a été si souvent décrit, que nous voulons seulement résumer ici les notions acquises sur ses propriétés, déjà publiées d'ailleurs dans la première partie de cet ouvrage.

Le sol est recouvert d'une couche de tourbe ferme et compacte, consistant principalement en éléments organisés, résidus de la végétation de la lande, tissés et liés en un mélange épais de racines de bruyères, de mycélium, par places le thallus mousseux et le tissu de racines d'autres plantes, qui peuvent disparaître entre la bruyère.

Les couches les plus basses de la croûte de la lande renferment ordinairement une quantité d'éléments minéraux du sous-sol qui augmente avec l'accroissement de la profondeur, particulièrement le sable, et prennent ici plutôt le caractère d'un sol sableux, traversé par un tissu de restes de plantes et mélangé fortement avec les restes de la végétation, que celui d'une formation réelle de tourbe sur le terrain d'origine ; pourtant, par le desséchement, cette partie de la superficie devient aussi ferme, souvent presque dure comme la pierre et ne se laisse pas distinguer nettement de la tourbe particulière gisant à la partie supérieure. Sous la croûte de la lande, se trouve la couche de sable plombifère, sable blanc, décoloré qui, suivant le degré du mélange, présente toutes les nuances du sable blanc de neige jusqu'à celle d'un mélange gris-noir couleur terreau. La limite entre le sable plombifère et la croûte de la lande est d'autant plus tranchée que le développement de la couche la plus inférieure décrite plus haut est plus faible ; elle est parfois tout à fait confuse, souvent fortement accusée. Sous le sable plombifère se trouve une couche colorée par des acides humiques et des combinaisons humiques, qui s'appelle *Ortstein* ou terre rouge (*Rotherde*). Les éléments minéraux du sol sont ici enveloppés d'un revêtement de nature humique : la couche est ordinairement très épaisse, si bien qu'elle laisse passer l'eau avec une lenteur extraordinaire. La limite de la terre rouge n'est jamais tranchée vers le bas ; le passage au sable couleur d'ocre du sous-sol est confus et le plus souvent déchiqueté de façon très irrégulière, si bien que la couche, dont la couleur varie du sombre au noir-brun a des prolongements dans le sous-sol sous forme de cônes et de languettes. Ce passage offre d'ailleurs une richesse de formes dont les écarts réciproques doivent être attribués aux différences dans le mouvement de l'eau. Si nous consultons la littérature, nous trouvons chez Emeis de très beaux dessins de profils de lande, dans lesquels ces particularités sont soumises à l'opinion. En haut, vers le sable plombifère, la délimitation de la terre rouge est parfaitement tranchée, mais elle est souvent effacée par l'amoncellement de matières humiques, dans la couche la plus inférieure du sable plombifère, comme cela est représenté sur le tableau III par la figure 4.

L'uniformité prédominante, chez ces formations, de leur puissance et de leur autre caractère, sur des étendues importantes, est très frappante. Sur les parties élevées sèches, où le sol n'est pas marécageux, les couches sont parfois si homogènes, que, sur des surfaces considérables leur épaisseur offre seulement une différence d'un petit nombre de pouces. La terre rouge présente pourtant la même homogénéité, et à certaines places, notamment, là où les conditions du terrain rendent le sol frais ou entièrement humide, il existe aussi des différences très considérables dans la puissance de la tourbe et du sable plombifère. Mais, pourtant, en général l'uniformité est un trait caractéristique de la nature de la terre, partout dans le terrain conquis par la formation de tourbe dans le Jütland.

Les sols de landes en forme de terreau (*mullartige Haideboben*). — Il semble qu'on n'a pas appelé suffisamment l'attention sur ce fait que la bruyère brune, qui tapisse d'une couverture uniforme les hauteurs et les vallées dans les régions de landes, n'a pas caché sous elle des différences dans le sol, telles qu'elles méritent, aussi bien au point de vue de l'histoire naturelle qu'à celui de l'économie, la plus grande attention. J'ai déjà mentionné autrefois que j'avais trouvé dans le Nord de Seeland de plus grandes parties du sol recouvert par la bruyère, dans lesquelles n'existait pas trace de formation de sable plombifère et de terre rouge. Le sol était ici le terreau ordinaire avec tous ses indices particuliers des couches sous-jacentes. Mais aussi dans les contrées de landes proprement dites, existent des étendues qui ont tout à fait le même caractère. J'ai trouvé de telles parties dans Amte Aalborg, entre le Thisted Nordskov et le Astrup Nordskov (Gut Villestrup) sur un terrain, qui avait tout à fait le caractère de la lande ; plus loin, sur les landes entre la forêt de chênes de Hald et le Findskov-Krat dans Amte Viborg et dans la plantation de Langebjerg (district forestier d'État de Palsgaard dans Amte-Aarhuus). Tous ces emplacements ont partout les traits communs suivants : le sol n'est pas le sol sableux le plus maigre, bien qu'il ne soit sous aucun rapport essentiellement différent du sol sous-jacent des étendues de landes typiques : les conditions du terrain sont telles que l'emplacement n'appartient pas aux parties de landes les plus sèches et discontinues ; mais en

général, c'est une formation normale de tourbe qu'on trouve pourtant à de telles places dans les régions de l'ouest du Jütland. Enfin la végétation de bruyères a régné difficilement depuis très longtemps sur les étendues en question. Ainsi, la lande dont on a parlé près Villestrup, entre deux forêts, dont celle qui est à l'ouest a des formations de tourbe de bruyère prononcées à ses bords sud-ouest, sur le terrain coupé. Les parties de terreau dans la lande entre la forêt de chênes de Hald et le Findskov-Krat ont été, d'après les données historiques sur lesquelles nous reviendrons plus tard, peut-être encore au commencement du siècle précédent, couvertes de forêts, mais sont maintenant entourées de tous les côtés de tourbe de bruyère normale. Enfin, les parties en forme de terreau se trouvent dans la plantation de Langebjerg, également entourées de tous les côtés par la formation de tourbe ordinaire ; de même dans une contrée qui a des restes importants de forêt et de *Krattgebusch*. Dans les landes occidentales, qui, vraisemblablement, sont d'origine plus ancienne, je n'ai jusqu'à présent trouvé dans le sol aucun vestige analogue des différentes conditions de végétation anciennes et de leur influence sur la superficie du sol.

Il a été établi depuis peu que les épicéas, plantés dans ces régions, montrent des conditions de développement très différentes, suivant que la plantation a été faite dans le sol en forme de terreau de la forêt de chênes ou dans la tourbe de bruyère. Là, ils se développent rapidement et puissamment; ici, ils ont un état très dur, meurent souvent ou bien restent de longs espaces de temps, souvent de dix années, ralentis dans leur végétation. Cela a été une circonstance très heureuse, que les essais de plantation aient fourni la démonstration de ce fait que le sol dans les landes se comporte, au point de vue des conditions de végétation de l'épicéa, tout à fait de la même façon que le sol sous les chênes. Des plantations considérables, entreprises sur la lande, près de Villestrup, étaient dans un état extraordinairement prospère, malgré un travail tout à fait insuffisant du sol [1] ; tandis que tout planteur de landes expérimenté eût consi-

1. C'étaient des replants d'épicéas âgés de deux ans, provenant d'une pépinière, qui avaient été placés dans un sillon tracé avec la charrue.

déré comme impossible de faire progresser de cette façon des épicéas sur la lande recouverte de tourbe. Même dans la plantation de Langebjerg, l'état des épicéas est extraordinairement bon : mais comme le travail du sol était beaucoup plus complet, on ne sait pas exactement la part qu'on doit attribuer dans le succès à l'état du sol produit par l'art.

Le passage du sol de terreau au sol de tourbe dans les landes. — C'est un phénomène au plus haut point surprenant, que les sols de terreau et de tourbe peuvent se transformer si subitement dans les landes jütlandaises et qu'une différence de quelques toises suffit pour conduire l'observateur d'un sol, qui sous une couverture épaisse et ferme de tourbe, a une couche de sable plombifère de 4 à 6 pouces (0^m,1046 à 0^m,1569) reposant sur des formations d'*Ortstein,* et de terre rouge puissantes et dures comme la pierre, à un sol en forme de terreau, dont la couche superficielle est poreuse et a la couleur du terreau, et qui passe insensiblement à un sous-sol sableux, couleur d'ocre.

Cet état apparaît de la façon la plus évidente là où les parties en forme de terreau consistent en petites oasis de terreau de 10 à 20 ellenquadrat (environ 13^{mc},806 à 26^{mc},712) sous des taillis de chênes isolés et bas, comme le représente la figure 14. Cet état n'est pas du tout une exception, et l'auteur, après que son attention eut été appelée une première fois sur ce fait, a retrouvé ce même phénomène à beaucoup d'endroits. Un examen exact des conditions sous un *Krattbusch* de chênes isolé dans la lande près Skarrild pouvait servir d'exemple.

Le *Skarrild Krat* dans Amte-Ringkjöbing se trouve sur la pente sud-est de la partie montagneuse du grand Skovbjerg dans la région du Jütland complètement dépourvue de bois. Il consiste principalement en petits chênes bas et isolés dans la bruyère et occupe le talus sud-est aussi bien que le sommet de la grande montagne qui s'élève à une hauteur considérable au-dessus de la vallée de Skjernaa, qui forme ici la limite entre la partie montagneuse et les grandes plaines de Sönder-Omme. Le sol de cet emplacement très sec est le sol ordinaire, un peu de sable pierreux avec une quantité d'alumine tout à fait évanescente. Déjà en 1867, on avait entrepris une plantation;

mais les plantages qui avaient pris place dans un sol portant une végétation de bruyère et recouvert de tourbe de lande, n'ont pas eu un accroissement convenable ; 12 à 13 années après, il y a ici, malgré de nombreuses améliorations, beaucoup de plantes mortes et rarement celles qui sont encore vivantes se distinguent au-dessus de la bruyère. Seulement, çà et là, quand une plante a été apportée à la lisière d'un *Krattbusch* ou à une place où le hallier a été enlevé, pour le remplacer par une plantation d'épicéas, les jeunes arbres se sont développés fortement en hauteur et atteignent parfois une hauteur de 3 à 4 ellen (51^{m},418 à 55^{m},224), comme notamment dans le voisinage de la pépinière.

En examinant de plus près le taillis de chênes et le sol sur lequel il se tient, l'observateur a devant les yeux l'image que représente la figure 14. Sous le dais presque orbiculaire, haut de 3 pieds et demi (1^{m},098) et large de 14 pieds (4^{m},393) du taillis de chênes, noueux et tordus, le sol est muni d'une couverture d'herbes et de plantes correspondant à ce point essentiel d'après la végétation sur le terreau dans les forêts de chênes. Il existait ici, outre les herbes, la *Campanula* (*rotundifolia?*), *Achillea millefolium, Melampyrum pratense* et d'autres ; à la lisière du taillis, aussi bien la bruyère que des busseroles communes et des arbrisseaux de camarines noires paraissaient pénétrer sous le dais ; mais là où celui-ci descendait serré sur la terre, les plantes de terreau s'étendaient jusqu'au bord du taillis. Le sol était tout en haut recouvert d'une couche imparfaite et meuble de morceaux de feuilles et d'autres déchets de la végétation : au-dessous, suivait un terreau gris noir meuble, dont la partie supérieure était formée presque complètement d'excréments de vers de terre homogènes, d'une grosseur de 3 à 4 millimètres, mélangés avec du sable et se transformait peu à peu en une superficie du sous-sol meuble, de couleur terreau, qui se perdait insensiblement à une profondeur d'un demi-pied (0^{m},1569) en sable jaune du sous-sol. Autour du taillis de chênes, commençait la formation de tourbe de lande et à une distance de quelques ellen [1] le sol de lande était parfaitement normal.

---

1. Ellen = 23^{inches},4 = 13^{m},806.



Fig. 14. — Coupe d'un *Krattbusch* de chênes et du sol qui le porte. Sous le dais de feuillage du chêne, le terreau grisâtre de la superficie passe peu à peu au sable jaune du sous-sol ; extérieurement au bosquet, là où le sol porte une végétation de bruyères, la tourbe de lande, le sable plombifère et l'*Orstein* se sont formés. Les racines de chênes sont représentées par une esquisse.

On retrouve les conditions décrites ici à beaucoup d'autres endroits aussi bien dans Skarrild-Krat que dans d'autres localités du même genre. Ainsi, le sol sableux de Skindbjerglund avec sa bonne végétation forestière, est limité vers l'Ouest par des formations de tourbe et d'*Ortstein*, que j'ai trouvées surtout sur les massifs élevés et secs du Jütland et qui, à une distance de quelques toises, montrent cette grande différence dans l'état du sol. Le sol, sous et entre les taillis de chênes isolés dans Findskov-Krat, se comporte en général tout à fait de la même façon que dans Skarrild-Krat. Dans Tyskov-Krat, à l'angle sud-ouest du Aarhuus, nous trouvons tout à fait les mêmes conditions, mais l'emplacement a comme particularité d'appartenir aux grandes surfaces de landes (*Flächen*) [plaines], dont le sol forme, comme on sait, la partie la plus maigre des landes jütlandaises. La configuration du terrain ne permet pas, à la vérité, d'assigner, avec une entière certitude, une place à cet emplacement parmi les plaines; seulement la nature du sol ne peut guère laisser de doute sur ce fait que ce sol, aussi loin que mes recherches ont pu s'étendre, consiste en un sable extraordinairement maigre, paraissant tout à fait exempt de pierres et d'alumine. Le boqueteau même, comme celui de Skarrild, est formé de broussailles détruites qui gisent à la surface, qui cependant parfois s'élèvent à une hauteur de 5 à 6 ellen (69^{m},03 à 82^{m},836) et se réunissent en des groupes plus grands et homogènes. Dessous, se trouve du terreau parfait de nature définie; au milieu, une formation de lande distinctement définie et le terrain se perd, sans plus grand changement dans le rapport de hauteur de la superficie, dans la grande vallée désolée de Brande-Paarapur, avec sa formation puissante de tourbe de lande et d'*Ortstein*, qui s'étend immédiatement jusqu'aux limites du boqueteau.

Celui qui, ainsi que l'auteur, a pris pour point de départ de ses recherches sur ces conditions, les formations de tourbe dans les forêts de hêtres des meilleures régions, doit être très frappé de ce phénomène, que la formation de sable plombifère, à une distance de quelques ellen de la limite du bosquet, a la même puissance qu'à de plus grandes distances de celui-ci, bien que, manifestement, elle soit plus nettement prononcée au voisinage immédiat du bosquet, de même que la formation de terre rouge au bord du bosquet diminue

en puissance et en clarté, au fur et à mesure qu'on approche de l'ombrelle formée par les branches, et se perd dans le terreau, sans aucune délimitation déterminée. Il y a évidemment une loi qui régit la puissance de la formation de sable plombifère dans ces contrées sur la lande maigre. Enfin, comme on l'a déjà mentionné, l'éloignement de la terre rouge de la superficie est très uniforme et je n'ai jamais trouvé des commencements de formations de terre rouge et de sable plombifère pareilles à celles des forêts de hêtres sur de meilleur sol, où une fine bande de sable plombifère ayant à peine l'épaisseur d'un pouce forme, immédiatement au-dessus d'une bande de terre rouge aussi fine, le commencement du développement de couches très puissantes de sable plombifère et d'*Ortstein;* ici, au contraire, la puissance du sable plombifère est déterminée, pour ainsi dire, par anticipation.

Quand on enlève à l'intérieur un long profil de sol à travers un pareil bosquet et dans les sols de landes proprement dits (voir fig. 14), on s'aperçoit que la place sur laquelle la terre rouge s'est formée, est la superficie du sous-sol. La couche d'*Orstein,* souvent très dure, noir brun et épaisse sous la bruyère, se continue immédiatement dans le développement de terre rouge plus faible dans le voisinage immédiat du bosquet et se perd ensuite peu à peu dans la superficie de cette partie du sol, qui n'a plus la couleur du terreau. Nous avons vu auparavant que, de même sous le terreau, juste à la même place, il peut exister une bande sombre colorée, et là où une pareille bande apparaît sous le bosquet, le point de jonction entre cette formation et la terre rouge et l'*Ortstein* n'est pas reconnaissable. A cause de la régularité dans ces conditions et les nombreuses observations que j'ai eu l'occasion de faire, j'ai dû exprimer avec conviction, que la terre rouge dans les contrées de landes jütlandaises se développe dans la partie supérieure du sous-sol et que la puissance de la couche sus-jacente, en plus grande partie formée de sable plombifère, correspond exactement à la profondeur du sous-sol analogue au terreau sur le même emplacement.

Si l'on suit plus exactement les passages, et si l'on recherche des emplacements où l'on rencontre parfois à une courte distance des formations de terreau typique, les formations de tourbe les mieux

définies avec de la terre rouge puissante et dure comme la pierre, comme celle qui se trouve en général dans le sol de landes moins sec, jusqu'au sol frais et humide, on reconnaît plusieurs nuances dans le passage, comme par exemple c'est le cas sur la limite entre le Viborg-Krat et la lande de Viborg. Sur le côté nord-est du Viborg-Krat, au voisinage de la maison forestière, une formation montagneuse se change insensiblement en une plaine vallonnée, et la limite du joli boqueteau s'approche à peu près du pied de la hauteur, si bien qu'à l'œil nu, il n'existe aucune différence visible[1] relativement au terrain à l'intérieur et à l'extérieur de la limite du boqueteau : de même, d'après les analyses entreprises, le sous-sol est le même aux deux places. En général, le terrain est relativement bas placé et le sol est plus humide que dans les landes élevées. Si l'on examine un profil obtenu en creusant dans ces trous, suivant une ligne nord-est à peu près perpendiculaire, sur les limites du bosquet le sol montre tous les passages entre les trois stades représentés par les figures 2, 3 et 4 du tableau III. La figure 2 montre l'aspect du sol 20 ellen (276^{m},12) à l'intérieur de la limite du bosquet : sous une végétation de plantes de terreau et une misérable couverture de déchets de la forêt, gît une superficie meuble, sombre, graveleuse sur une couche supérieure du sous-sol (*a*) couleur terreau, qui, à une profondeur de 10 pouces (0^{m},2615) se transformait dans la couche du sous-sol faiblement colorée en brun large de 10 pouces (0^{m},2615), décrite plus haut. La figure 3 donne une image de l'état du sol 20 ellen (276^{m},12) à l'extérieur de la limite du boqueteau. La végétation consiste ici en haute bruyère, comme c'est ordinairement le cas sur les jeunes landes et le sol est recouvert d'une jolie couche d'hypnus, qui existe à peine sur de vieilles landes ; outre cela, se trouvent aussi le genévrier et le genêt. La superficie du sol consiste en une couche de tourbe qui n'est pas particulièrement définie ou qui est visqueuse, de puissance très restreinte ; au-dessus gît, comme dans le boqueteau, à une profondeur de 10 pouces (0^{m},2615) un sable couleur de terreau, qui est pourtant un peu plus ferme, montre au creusement

1. La carte générale de l'état-major montre pourtant que le boqueteau existe ici dans une proportion de 1 à 400 ou 1 : 450.

une consistance plus grande que la couche supérieure du sous-sol, et qui doit sa coloration plus sombre au dépôt d'une grande quantité d'éléments humiques. Le ton de couleur plus claire n'existe pas dans cette couche, comme dans la couche correspondante sous le terreau, mais plus près du milieu, tandis que la partie la plus inférieure de la couche, comme le montre la figure, contient de nouveau un plus grand amoncellement de particules humiques déposées et par suite présente un aspect semblable à celui de sa partie supérieure. Enfin vient à la suite, dans la superficie du sous-sol, la couche brunâtre dont on a parlé plus haut, qui a une puissance tout à fait égale à celle qui existe sous le terreau du bosquet, mais possède une coloration plus intense que celle-ci.

Plus on pénètre loin dans la lande, plus augmente la puissance de la croûte ; dans la couche supérieure du sous-sol, se séparent peu à peu trois couches, l'une, superficielle, sombre, couleur d'humus, tissée par des racines de bruyères, une couche moyenne, analogue au sable plombifère, mais pourtant relativement riche en humus, et une couche inférieure qui est de nouveau intensivement sombre ou tout à fait noir brun. La zone a toujours une coloration sombre dans la partie supérieure du sous-sol et nous arrivons peu à peu à un profil de la nature représentée par la figure 4 du tableau III, qui montrera à tout forestier expérimenté que c'est une de ces localités défavorables pour les plantations, que les landes offrent généralement. Sous une couche supérieure du sous-sol, qui a l'aspect qu'on vient de décrire, gît une formation noir brun d'*Ortstein,* d'une puissance de 12 pouces ($0^m,3138$), très dure et en même temps ici humide, qui se transforme vers le haut, sans délimitation sensible, en la couche de sable plombifère et qui se perd vers le bas, dans le sous-sol, en dessins de différentes espèces, tantôt en cônes et en langues, tantôt en formes qui donnent au profil un aspect marqueté. Mais, si l'on n'a pas suivi les formes de passage, on ne découvrira pas toujours que cette couche d'*Ortstein* consiste réellement en deux et que la limite qui les sépare se trouve exactement à la place où se montrait la limite entre la couche supérieure du sous-sol et le sous-sol du terreau dans le boqueteau. La partie supérieure de cette couche qui passe peu à peu vers le haut en sable plombifère,

consiste principalement en charbon humique (*Humuskohlen*) déposé entre des grains de sable blanc de neige, de même nature que le sable plombifère. Ces dépôts de particules d'humus croissent en quantité vers le bas et forment souvent une masse d'un caractère tout à fait tourbeux, quelquefois tout à fait traversée par un tissu de racines de bruyères, qui n'existent que très pauvrement dans la couche sus-jacente de sable plombifère. Au contraire, la partie inférieure, dont la délimitation correspond vers le haut à la superficie du sol, a un tout autre caractère. Ici, on voit rarement, ordinairement même pas du tout, les grains de sable blanc briller à l'intérieur ; ceux-ci sont tous enveloppés de croûtes brunes ou noires brunes d'acides humiques ou de combinaisons de ces acides, et la coloration diminue vers le bas, jusqu'à ce qu'enfin elle disparaisse complètement. Ces deux couches forment ensemble l'*Ortstein ;* mais la partie supérieure de la couche est beaucoup moins constante que la partie inférieure, a souvent une extension extrêmement petite et se développe toujours le plus fortement aux places plus humides des landes. Emeis représente dans quelques-uns de ses dessins de profils jolis et corrects de sols de landes, qui sont en partie illustrés par la figure 4[1] et en partie correspondent à des périodes plus avancées encore[2].

L'état du sol représenté ici à un éloignement différent des limites du boqueteau vers le nord-ouest trouve son complément dans les conditions d'un emplacement voisin, le Findskov-Krat. Là, le sol avait principalement le caractère de la vallée de lande ; ici, on se trouve sur la brande montagneuse. Là, il n'existe aucune démonstration certaine que la forêt se soit étendue, à une époque antérieure pas trop éloignée, sur les parties actuelles des landes ; ici, nous trouvons une croissance de chênes rabougrie, qui s'étend jusqu'à une belle forêt considérable dévastée dans la dernière moitié du siècle précédent, où l'on pouvait encore voir dans l'année 1880, des tronçons de chênes non pourris ayant un diamètre de 1 à 2 pieds (0^{m},3138 à 0^{m},6277), qui s'élevaient au-dessus de la bruyère ; mais ces deux

1. C. Emeis, *Recherches et observations forestières*. Berlin, 1875, tableau II, fig. 5.
2. *Passim*, tableau IV, fig. 4, et tableau V.

emplacements ont comme point commun une fraîcheur un peu plus grande du sol, qu'on la rencontre en beaucoup d'autres endroits des landes et nous trouvons sur le dernier emplacement tout à fait la même formation de sol avec les passages correspondants, tels que ceux que nous venons de décrire en détail pour les premiers. Le sol sous un petit taillis de chênes, haut de 4 pieds ($1^{m},255$) et large de 6 pieds ($1^{m},883$), à des distances de 3 et 100 ellen ($41^{m},418$ et $1,380^{m},6$) du bord du hallier, donne des profils qui concordent entièrement avec ceux pris aux environs du boqueteau de Viborg et représentés par les figures 2, 3 et 4 du tableau III. Cependant le sol de landes dessiné n'était pas aussi riche en humus et l'*Ortstein* pas aussi complètement sombre et épais que sur la figure 4.

Si l'on se rappelle nos observations sur la dégénérescence de la forêt de chênes et de sa transformation en végétation rabougrie, si l'on voit comme le terreau est presque exclusivement lié à la forêt et aux broussailles, comme pour le développement des deux intervient et interviendra toujours un mauvais traitement, auquel prendraient part la nature et les hommes dans le cours du temps, il me semble que l'on peut admettre avec une sûreté aussi grande que les conclusions d'analogie (*Analogieschlüsse*) le permettent, — et une autre forme de conclusion se formule à la vérité ici, où l'expérience est enchaînée, où la recherche n'est pas nécessaire — que les passages du sol de terreau et de tourbe de lande, qu'offrent différentes parties des localités décrites, indiquent en même temps des passages à l'époque de la transformation de ce sol de terreau en tourbe. Si la végétation forestière est limitée, la formation de terreau, dans ces régions, est ordinairement séparée de la formation de tourbe et il y a des périodes de passage que nous trouvons dans le sol tout aussi bien qu'au bord des *Krattbüsche* que lorsque nous taillons nos profils à l'intérieur de la limite de la forêt dans la lande. La dégénérescence de la forêt de chênes et sa transformation en lande ne doivent pas d'après cela être attribuées seulement à l'action directe du vent d'ouest sur les arbres, mais aussi à une transformation du sol très importante et fatale à la végétation forestière. Notre conclusion repose donc sur l'hypothèse que le sol tourbeux des landes, qui n'est pas complètement défini, est plus jeune que celui qui est fortement

développé ; de même aussi que la forêt est disparue plus tôt ici que là, et toutes nos observations nous autorisent à admettre cette supposition.

Le sol des broussailles de chênes (*Eichengestrüpp*) peut souvent, sur une petite surface, servir de démonstration au procédé de transformation. Nous avons déjà vu que sur le terrain sec, dans les forêts de chênes tombées en décadence, des couches de nature tourbeuse peuvent prendre naissance sur la superficie de la terre et on retrouve exactement ces mêmes conditions, comme nous l'avons indiqué auparavant, dans le bosquet isolé sur les landes. Pourtant, de pareils *Krattbüsche* ne couvrent pas de beaucoup un sol en forme de terreau, mais on trouve aussi tous les passages entre le terreau et la tourbe sous le dais de ce bosquet. Si son dais s'éclaircit vers le bas, ou si la couronne commence à se sécher, alors d'abord les airelles myrtilles, plus tard la busserole, et enfin la bruyère et les bosquets de camarine noire font irruption des côtés sous le dais et les plantes de terreau se retirent plus loin aux places les mieux ombragées. A l'airelle myrtille et à la bruyère succède la formation de tourbe, au commencement plus faible, enfin toujours plus forte, jusqu'au moment où la formation de lande enveloppe tout le terrain du *Krattbusch*. Il est au plus haut point intéressant de remarquer qu'on retrouve sous un pareil bosquet, haut seulement de quelques pieds sur la lande, d'une surface de 10 à 20 *Quadratellen* (130^{mq},806 à 261^{mq},612), cette même série d'états pendant la transformation du terrain, comme nous l'avons observé dans la forêt de chênes de Hald sur un terrain de plusieurs centaines d'hectares, et les causes de cette transformation sont les mêmes, c'est-à-dire l'extension d'une végétation qui forme de la tourbe par suite d'un affaiblissement de l'ombragement et de la protection du sol.

Sol de landes recouvert de tourbe sans formations de sable plombifère et d'Ortstein. — On ne doit que mentionner légèrement ce fait, sur lequel nous reviendrons plus tard, qu'exceptionnellement dans notre pays se trouvent des landes avec des dépôts humiques analogues à la tourbe à la superficie du sol, sans que les couches de sable plombifère et d'*Ortstein*, qui ne font jamais défaut sur les landes jütlandaises, sur beaucoup de milles carrés soient liées avec. Nous

trouvons cette apparition en partie par places sur le sol riche en chaux, en partie sur les étendues de landes de *Bornholm,* appelées « Allmende », où une couche de terre mince, généralement argileuse, est déposée sur le granit. La tourbe de landes, qui n'est pas très fortement dessinée, est accompagnée ici d'un dessin flamboyant, dans le sol sous-jacent, produit par les acides et charbons humiques déposés dans les déchirures et dans les fentes ; parfois aussi le sol a une coloration foncée produite par des combinaisons humiques. Mais là où, dans ces régions, il existe de petits monticules de sable où la couche de terre, comme sur de plus grandes étendues dans les plantations près Rö, renferme plus de sable et est déposée en une plus grande puissance sur le roc, on retrouve très ordinairement des formations semblables à celles qui sont connues dans les landes jütlandaises.

Observations sur les sols portant d'autres formes de végétation. — Pour la compréhension des descriptions précédentes touchant les conditions du sol dans les forêts de chênes et les landes, il sera nécessaire de les comparer avec les observations faites sur le sol sous d'autres formes de végétation naturelle. Tournons-nous d'abord vers les différences dans la couche superficielle du sol des forêts de hêtres qui ont été traitées dans le premier chapitre de ces études. La série considérable d'observations que l'auteur, dans l'espace de cinq années écoulées depuis la publication de la première partie de ce travail, avait eu l'occasion de faire sur les sols dans les forêts de hêtres, a confirmé sous chaque rapport la justesse des principes posés touchant les formes des dépôts humiques dans les forêts de hêtres. On se rappellera que les traits principaux de ces principes se résumaient de la façon suivante : Dans les forêts de hêtres, la superficie du sol peut tout aussi bien être recouverte de terreau meuble de structure graveleuse que d'une tourbe ferme et tenace qui consiste principalement en masse de déchets de la forêt de hêtres, traversée par un tissu entre-croisé et épais de fines racines de hêtres et d'un champignon mycélium lentement destructible. La surface du sous-sol sous le terreau est une masse uniformément colorée, parfaitement meuble et assez homogène, colorée à un degré plus ou moins grand par les matières humiques ou les combinaisons

de l'humus, dont pourtant la quantité et l'intensité de la couleur diminuent avec la profondeur. La couche superficielle du sous-sol sous la tourbe définie est surtout ferme, parfois très ferme, à la vérité, suivant la nature des parties de mélange du sol, aussi bien que la puissance et l'âge de la formation de tourbe ; elle est séparée en une couche supérieure de sable plombifère et une couche inférieure de terre rouge ou d'*Ortstein*.

Les recherches récentes ne limitent que sur un seul point la justesse de ces principes, en ce sens que j'ai trouvé des formations de tourbe de hêtres, qui n'étaient pas accompagnées de sable plombifère ou d'*Ortstein*. Cette observation, qui, comme nous le verrons plus tard, semble éclairer utilement la question de la formation, avait été faite dans le district de Buderupholm. Dans la partie nord, cette grande et intéressante région forestière, connue sous le nom de « Rold Skov », s'approche si près de la chaux de la plus ancienne formation crétacée danoise, à la surface, que les tas de taupes sont souvent très blancs. Cela est notamment le cas dans le Bjergeskov et le Nordskov, qui occupent les puissantes parties montagneuses qui bornent la vallée du ruisseau de Rold vers le sud-ouest et dans Skjörpinglund. La chaux y est ordinairement recouverte d'une couche de sable d'alluvion maigre, extraordinairement pauvre en argile, de différente puissance ; seulement, la grande quantité de morceaux de silex qu'elle renferme témoigne de la part que la formation crétacée a prise à la formation de ces couches de diluvium. Ce sol, sec et chaud, en partie aussi maigre, est, à beaucoup d'endroits, recouvert de terreau de même nature que le terreau de sable (*Sandmull*) dans les forêts de chênes, comme notamment dans les pentes nord et nord-ouest du Bjergeskov. Ici, la croissance des hêtres est bonne, leurs tiges sont souvent blanches et leurs formes ne sont mauvaises que là où l'influence du vent d'ouest est sensible. Mais, à d'autres places, principalement sur les hauteurs et vers l'ouest, au voisinage du chemin de fer, l'aspect du hêtre n'est pas beau, le sol qui n'est pas recouvert de terre est ferme et sec. Une recherche plus complète montre que la terre est revêtue d'une couche épaisse et ferme de nature tourbeuse dans laquelle les racines du hêtre se ramifient, comme dans la tourbe de hêtre ordinaire ; je

ne l'ai vue nulle part atteindre la puissance à laquelle s'élèvent les formations de ce genre bien définies. Elle a, outre cela, une autre couleur que celle-ci, car elle est brune ou même brun clair ; je n'ai jamais vu à de telles places la couleur presque noire ou brun-café, qui caractérise la tourbe de hêtres typiques. A la place du sable plombifère se trouve ici une couche supérieure du sous-sol, claire, couleur terreau, rendue très ferme par un réseau extrêmement fin de racines de plantes, mortes ou vivantes, qui forme un tissu à travers la couche, et celle-ci se transforme insensiblement, sans formation de terre rouge, en un sous-sol sableux, graveleux ou riche en pierre à fusil. Cette formation de nature tourbeuse, particulière, claire (ce qui veut dire pauvre en acides humiques), je ne l'ai trouvée à aucun autre endroit que là, où le voisinage de la chaux donnait à penser que le sable devait être plus riche en cette matière que le sable d'alluvion en général. Dans la même partie de la forêt, environ à un mille de Bjergeskov, lors de ma visite dans l'été de 1880 (dans la forêt de Mylenberg, au voisinage de la maison de chasse), on avait fait, récemment, un chemin à peu près au milieu sur le bosquet des hauteurs considérables qui limitaient vers l'ouest la vallée de Roldbach. Là gît la chaux, recouverte de puissantes couches de sable d'alluvion de 200 pieds ($62^{m},770$) et — ce qui montre l'existence plus rare de la pierre à fusil — n'a pas pu être mélangée au sable aussi bien que là où celui-ci se trouve tout près de la superficie. Le chemin récemment creusé, qui ouvrait dans la montagne un profil excellent d'une longueur très considérable, et qui avait une profondeur moyenne d'environ 4 à 6 pieds ($1^{m},255$ à $1^{m},883$), me donna la conviction que la formation tourbeuse puissante existant dans la forêt, était de nature tout à fait normale et était accompagnée comme d'ordinaire de fortes couches de sable plombifère et d'*Ortstein.* Plus loin, vers le nord (par exemple dans les puissantes collines de Oblev-Tved), la chaux atteignait de nouveau tout près la superficie du sol et ici aussi apparaît à nouveau entre les masses sans fin de pierre à fusil grise de la craie plus nouvelle, la même formation de tourbe mince, claire et anormale, comme aux environs de Bjergeskov, où les débris noirs de pierre à fusil prépondérants montrent que le dépôt inférieur de la couche est formé de craie plus ancienne.

Comme nous le verrons plus tard, il est raisonnable d'admettre que ces formations de tourbe de hètres sans sable plombifère ni *Ortstein* sont analogues aux couches de tourbe de landes qui existent dans le Allmende sur Bornholm, et dont on a parlé plus haut, sous laquelle la différenciation dont on a parlé manque également dans le sol.

La forme de l'humus dans les forêts d'épicéas. — Dans la première partie de ce travail, on a fait remarquer incidemment que, même dans les forêts d'épicéas, il pouvait exister des formations de tourbe.

Sous les plus anciennes forêts d'épicéas sur de meilleur sol, celui-ci est en général recouvert d'un tapis de mousse assez meuble, qui ramasse en lui les masses de déchet de la forêt. Sous ce tapis se trouve un terreau sombre, poreux, de caractère normalement graveleux, dans lequel les vers de terre accomplissent une grande partie de l'œuvre de la transformation et la couche de terreau grenue, tout aussi bien que les couches supérieures et inférieures du sous-sol, se comporte tout à fait comme dans la forêt de hètres. C'est ainsi, par exemple, qu'est constitué le sol dans la partie occidentale du grand peuplement d'épicéas dans la forèt de Gel, près Copenhague.

Mais, quand on pénètre plus avant dans cette forêt d'épicéas, on passe du meilleur sol à des tertres de sable très maigre, dont la superficie est découpée. On remarque aussitôt ici qu'on marche sur une couche plus ferme. Le sol est recouvert d'une couche épaisse de 2 à 3 pouces (0^{m},052 à 0^{m},078), tenace, traversée par un tissu de fines aiguilles d'épicéas, et sous cette tourbe d'épicéas se trouve une couche mince de sable plombifère et une bande nette, bien que pas fortement dessinée, de terre rouge de 1-2 pouces (0^{m},0261 à 0^{m},0523) de puissance. L'histoire de la forêt aussi bien que la nature des couches elles-mêmes, mettent hors de doute que la terre rouge, aussi bien que le sable plombifère, a pris son développement au temps où les épicéas recouvraient ce sol, c'est-à-dire 50 années environ. Entre la tourbe d'épicéas et le sable plombifère, il n'existe aucun reste d'une autre végétation, sous les déchets de laquelle les deux couches auraient pu se former dans la croûte terrestre. La tourbe d'épicéas est claire, renferme à peine autant d'acide humique que la tourbe de hêtres et

la tourbe de landes et n'est pas non plus aussi ferme que celle-ci ; de plus, les racines d'épicéas ne peuvent former dans la tourbe un tissu aussi épais que celui développé habituellement par les racines de hêtre et de bruyère. Aussi, dans la tourbe d'épicéas, les mycéliums jouent sans aucun doute un rôle de ciment ; mais, je n'ai pas vu ici les *Cladosporium Mycelium* bruns ou noirs éphémères se présenter aussi généralement et en pareille quantité que dans la tourbe de hêtres.

La tourbe d'épicéas existe avec une grande extension dans nos forêts d'État du nord de Seeland sur un sol maigre et sec. Elle repose ici souvent sur de puissantes formations de sable plombifère et d'*Ortstein,* sur lesquelles nous reviendrons plus bas. Mais, où une recherche attentive montre que la forêt d'épicéas n'est pas ressuscitée sur des formations de tourbe, produites par une autre végétation, là les couches de sable plombifère et de terre rouge sont de puissance plus restreinte et moins bien dessinées que celles dans Gelsskov, décrites plus haut.

Dans une autre forêt du nord de Seeland (Teglstrup Hegn) se trouve une petite surface qui est au plus haut point instructive au point de vue du pouvoir qu'ont les différentes essences de produire la formation de tourbe et d'activer son développement. Au voisinage de la maison de Kobberdam (*Kobberdamhaus*) existe une pépinière depuis longtemps conservée, haute et encore entourée d'un remblai. Les arbres qui croissent ici ont certainement pour origine un reste de plantes arbustives, qui autrefois se tenaient dans une couche de plants repiqués ; la moitié des arbres consiste en épicéas et l'autre moitié en chênes, mais tous d'un âge compris entre 35 et 40 ans. Sous les chênes, se trouve du terreau, quoique seulement en petite quantité, tandis que sous les épicéas apparaît un commencement évident de formation de tourbe, dont la couche atteint souvent l'épaisseur d'un pouce ($0^m,026$) et a produit çà et là à la superficie du sol des bandes de sable plombifère. Comme ce sol a été, sans aucun doute, travaillé tout à fait de la même façon sur toute la surface et a reçu en même temps les deux essences, il offre un exemple très significatif de l'influence différente exercée par ces essences sur la nature de la superficie du sol.

Par une décision royale du 10 novembre 1783, environ 100 hec-

tares de la partie du pays appelée Helsingörs Overdrev (*Gemeinde-anger*) furent consacrés à une plantation forestière. Ce terrain est aujourd'hui peuplé en plus grande partie par une forêt d'épicéas de 70 à 80 ans, qui a acquis un très bon développement à certaines places; ce peuplement est tellement imparfait qu'on ne peut aucunement mettre en doute que ces irrégularités doivent être attribuées à une culture insuffisante. Dans mes études sur la tourbe d'épicéas dans ce terrain qui est très coupé et qui consiste principalement en crêtes et en collines isolées, séparées les unes des autres par des marais tourbeux, mon attention a été appelée sur une condition qui a éclairé d'une façon très intéressante un des côtés de la formation de la tourbe. Sur les collines les plus hautes et les plus sèches, se trouve, sous la tourbe formée au cours d'un cycle de végétation d'environ 80 ares, une couche de tourbe noir brun puissante, qui, examinée soigneusement, montrait à la partie supérieure des restes d'une végétation de bruyères et, en dessous, des restes d'une végétation de hêtres. Sous cette couche d'une épaisseur de 6 à 8 pouces ($0^m,1569$ à $0^m,2092$), se trouve une couche de sable plombifère, assez blanche, de la même épaisseur, et dessous un *Ortstein* dur comme la pierre, d'épaisseur si considérable, qu'il me fut impossible d'opérer un creusage dans son intérieur; il avait vraisemblablement une puissance de 10 à 16 pouces ($0^m,2615$ à $0^m,4184$), comme je l'ai trouvé à d'autres places plus accessibles dans la même forêt. Cette observation semble confirmer la justesse de la caractérisation que j'ai exprimée auparavant: une formation de tourbe sur le sec. Enfin, ici, sur le sommet d'une colline sèche, gisaient à la surface du sol des dépôts de restes de végétation très différents, qui peut-être recouvraient le sol depuis plus de 200 ans, tout aussi bien que nous trouvons dans nos marais tourbeux les restes de végétations changeantes sur et près le marais.

Tourbe et terreau sur les prairies salées. — Pour comprendre la signification des différentes formations de sols que nous trouvons dans la forêt et dans la lande, il peut être utile de faire des observations à d'autres endroits, où nous trouvons la superficie naturelle du sol. Dans notre pays fortement cultivé et travaillé, en dehors des forêts et des landes, il n'y a pas beaucoup de localités où la super-

ficie du sol n'a pas été modifiée par le travail humain. Dans nos champs pierreux, qui ne sont pas labourables et dans nos prairies naturelles, on trouve aussi loin que se sont portées mes recherches, du terreau avec son état tout à fait caractéristique, par rapport à la structure, la consistance de la partie supérieure du sous-sol. Il en est tout autrement au contraire des prairies salées. J'ai examiné celles-ci près Hofmansgave, dans le nord de la Fionie. Là où les flots d'eau de mer submergent les gazons, ceux-ci sont recouverts d'une végétation de plantes salines ou halophiles (*Salzpflanzen*) et analogues : cette végétation forme sur le sable marin une tourbe brun clair, d'une épaisseur d'environ 6 à 8 pouces ($0^m,1569$ à $0^m,2092$). Cette formation a une ressemblance complète avec les formations de tourbes ordinaires et consiste en restes de déchet de la végétation liés ensemble par un tissu infiniment épais de racines des plantes en croissance ; les parties inférieures de la couche sont très fortement décomposées et forment une masse graisseuse, sans grande ténacité. Par leur couleur claire, qui paraît indiquer une formation restreinte d'acides humiques, elles se rapprochent le plus de la tourbe d'épicéas et de hêtres sur le sol calcaire. Doit-on chercher la cause de ce fait dans les procédés particuliers d'humification de la végétation elle-même, dans la circonstance à laquelle, comme je le pense, la tourbe d'épicéa doit surtout sa couleur claire et limitation de la formation de terre rouge, ou bien la raison est-elle que le sol sableux qui gît sous la prairie salée est particulièrement riche en chaux, grâce à la grande quantité d'écailles calcaires de mollusques (notamment *Mya arenaria* et *Cardium edule*) ? Je dois, à cause du manque de recherches chimiques, rester indécis sur ce point ; il se peut que ces deux moments s'unissent pour contribuer à la nature de la couche.

Çà et là, de petites îles et de petits monticules s'élèvent dans les prairies salées, qui, quoiqu'ils ne s'élèvent qu'à peu de pouces seulement au-dessus du niveau de la prairie, ne subissent pas l'action de l'eau de la mer. Ces points montrent d'une façon frappante une différence dans la surface environnante, en ce sens qu'elle porte une croissance végétale tout à fait différente de la végétation de celle-ci, croissance qui se montre d'abord le long du bord de la prairie,

aussitôt que le terrain s'élève un peu au-dessus de la plus grande hauteur de l'eau. Un examen plus minutieux du sol de ces parties plus hautes montre que la forme d'humus est ici le terreau parfaitement caractéristique. Quand on enlève la mousse et les autres plantes qui recouvrent le sol, alors apparaissent aussitôt le terreau grisâtre avec une grande quantité d'excréments de vers de terre distincts et la structure graveleuse caractéristique de la superficie du sol en forme de terreau. L'humification se fait ici souvent à une distance de plusieurs toises, d'une façon tout à fait différente et nous verrons plus tard quelle différence péremptoire règne dans la flore et la faune de ces emplacements, quoique aux deux places le sol consiste en sable marin.

Le sous-sol sous la tourbe de marais. — Si la désignation que j'ai adoptée dans la première partie de ce travail, pour caractériser la tourbe de hêtres comme étant le résultat d'une formation de tourbe sur sol sec est exacte et si le rôle que, à mon avis, on doit attribuer aux acides humiques solubles formés dans la tourbe, au point de vue du développement du sable plombifère et de l'*Ortstein* ou de la terre rouge, devait être confirmé, des formations tout à fait semblables dans le sol sous les marais proprement dits devraient alors se montrer là où ce sol est de telle nature que l'eau, qui s'infiltre dans le sous-sol, puisse pénétrer à travers lui. Déjà, au début de ces études, j'ai dirigé mon attention sur ce point, mais c'est seulement dans l'été de 1880 que j'ai été mis en possession du matériel d'études spécial nécessaire à ce genre de recherches.

Une grande surface d'environ 100 hectares, acquise en 1846, consistant principalement en boqueteaux de chênes et en landes de bruyère, dans laquelle se trouvaient un certain nombre de parties marécageuses, enfoncées à une grande profondeur, occupait la partie sud de la forêt de *Vindum,* dans le district forestier d'État de *Viborg,* dans le Jütland. Sous une croûte de lande, d'une épaisseur d'environ 9 pouces ($0^{m},2353$), gît à la partie supérieure, dans le sol humide, une couche de sable plombifère argileuse vraiment remarquable, et sous celle-ci, la couche superficielle du sol argileux est colorée par une formation irrégulière de terre rouge, tout à fait semblable à celle que j'ai trouvée sur d'autres sols argileux, décrite

et dessinée comme Profil IX. Une autre partie que j'ai examinée est un marais élevé (*Hochmoor*) ou marais de lande (*Haidemoor*) d'une grandeur vraiment remarquable, mais de profondeur peu considérable ; les places non drainées étaient si humides qu'on pouvait à peine passer. Sur une étendue de 4 hectares, ce marais avait été, immédiatement avant la recherche, traversé complètement par des fossés profonds de 3 à 5 pieds ($0^m,941$ à $1^m,569$), éloignés l'un de l'autre de 16 pieds ($5^m,0216$) et établis suivant deux lignes perpendiculaires, si bien que le réseau des fossés formait un système de carrés. Les fossés allaient d'un bord à l'autre du marais et non seulement avaient brisé la masse entière de tourbe sur une grande partie de la surface, mais ils avaient été conduits à l'intérieur d'une ligne dans la couche du dessous. Il était donc ainsi possible d'examiner très complètement les couches les plus basses du marais, sur une surface aussi considérable que 4 hectares. On constata que sous une couche de tourbe, dont la puissance s'élevait, en moyenne, à 2 pieds et demi ($0^m,7846$) et qui ne renfermait aucun tronc d'arbre, se trouvait une couche normale de sable plombifère ayant jusqu'à 1 pied et demi d'épaisseur ($0^m,4077$) et en dessous, une terre rouge très dure, colorée par des acides humiques de même profondeur, et que ces couches n'avaient pas été, en général, brisées par le creusage. Un creusement plus profond d'un pied ($0^m,31385$), fait dans ces couches, n'amena pas encore au jour le sous-sol pur non coloré. Sur quelques lignes, s'élevaient au-dessus du sable, sous forme d'îles, des parties plus ou moins grandes, d'une argile « bleue » plastique. Ici, le terreau reposait immédiatement sur l'argile ; la formation de sable plombifère faisait défaut, mais la couche supérieure d'argile était marbrée par des matières humiques, qui çà et là s'enfonçaient sous forme de veines dans la couche immédiatement sous-jacente de la tourbe, ce qui donnait le même aspect que l'argile plastique sous la couche de sable plombifère, dans le Profil IX mentionné plus haut. L'eau, chargée d'acide humique, a vraisemblablement reçu une décharge des couches de sable décoloré et beaucoup plus puissant qui l'entourent de tous les côtés et l'argile n'est pas devenue le guide du transport de l'eau. Il me semble que les conditions, sur ces emplacements, contribuent à un haut degré à renforcer

l'analogie entre la formation sèche de tourbe et la formation de tourbe marécageuse [1].

*Formations de sable plombifère et d'*Ortstein *dans les forêts converties en marais avec sol sableux.* — Dans le district forestier d'État de Falster, dans la forêt de Hanenover et peut-être dans le district forestier de Jägerspris (Nordskoven) [2], dans le Horn Harde en Seeland, se trouvent des formations de sable plombifère et d'*Ortstein* distinctes, qui, bien qu'elles ne soient pas très fortement développées, se rattachent à une forme de dépôts humiques un peu différentes de celles décrites plus haut. Il n'existe pas là une formation de tourbe proprement dite, au moins pas dans la forêt de Hanenover, mais le terrain plat qui porte la forêt et qui consiste principalement en sable fin reposant sur un sous-sol impénétrable, a été transformé en marais, si bien que la superficie du sol est mouillée pendant la plus grande partie de l'année, sans que pourtant une formation réelle de tourbe ait eu lieu. Maintenant, ces forêts sont, à la vérité, drainées, mais la tradition a conservé le souvenir du temps, qui n'est pas antérieur à la génération actuelle, où, excepté par un été extrêmement chaud, elles étaient des marécages presque inaccessibles. Je pense que ces bandes, où, parmi les plantes qui forment la végétation naturelle, la fougère aigle (*Adlerfarne*) et les buissons de carex (*Seggenbüschel*) sautent aux yeux, n'ont pas été assez mouillées pour permettre une formation de tourbe, mais trop humides pour provoquer un développement normal de terreau proprement dit et que l'humidité a favorisé la formation d'acides humi-

---

1. On pouvait facilement supposer qu'on trouverait dans les couches de charbon, dans l'argile réfractaire pauvre en fer et le fer houilleux une analogie relativement à la tourbe de différente espèce et les couches sous-jacentes. Quoique, pour moi, l'existence d'une pareille analogie me paraisse, avec la plus haute vraisemblable, pouvoir être justifiée, je risque pourtant ici de remettre cette supposition à un examen plus approfondi, parce que je n'ai pas trouvé dans les ouvrages spéciaux sur les dépôts carbonifères nouveaux et anciens, que j'ai pu examiner, la succession réciproque des couches dont on a parlé assez constamment, pour qu'il ne puisse s'élever un doute, en différents points, sur la justesse de l'analogie.

2. Je ne connais que superficiellement ce dernier emplacement ; mais j'ai trouvé l'analogie avec les conditions de la forêt de Hannenover si frappante, que je ne fais aucune difficulté de les classer ensemble.

ques à un degré aussi fort que celui qu'elle atteint ordinairement là où le terrain est recouvert de tourbe réelle.

L'influence de la vie organique sur le sol.

Les plantes. — Des observations communiquées plus haut, si on les compare aux faits énoncés dans la première partie de ce travail, il résulte que : en partie la forme de la végétation a une influence sur la nature des dépôts humiques, et en partie que le caractère de ces derniers exerce à son tour une influence sur la physionomie typique de la flore.

En ce qui concerne le premier point, je ne connais aucune végétation dont les masses de déchets aient été déposées toujours sous forme de tourbe sur le sol ; mais il est évident que certaines formes de végétation occasionnent plus facilement et plus ordinairement une formation de tourbe que d'autres, parce qu'il y en a quelques-unes pour lesquelles la tourbe est la forme la plus fréquente, tandis que chez les autres elle est rare.

Aux plantes qui forment la tourbe (*torfbildende Pflanze*) dans nos forêts, appartiennent avant tout les représentants de la famille des éricinées ou éricacées dans notre flore, particulièrement la bruyère commune (*Calluna vulgaris*), mais aussi les airelles myrtilles (*Vaccinium Myrtillus*) et peut-être aussi l'*Erica tetralix*. Le hêtre est, de toutes les essences forestières, celle qui provoque le plus facilement une formation de tourbe, qui fréquemment, d'ailleurs dans les mêmes conditions, se trouve dans les forêt de hêtres en couches plus puissantes que sur les landes. Puis, nous avons vu aussi que les déchets (*Abfall*) de l'épicéa peuvent former de la tourbe, bien que cet arbre ne puisse occasionner des formations de terre rouge aussi puissantes et aussi nettement dessinées que la tourbe des plantes nommées auparavant. Enfin le Bohémien Purkyné justifie (voir plus bas) la possibilité de l'existence de la tourbe même dans les forêts de pins sylvestres, mais comme je n'ai pas eu moi-même l'occasion de faire des observations sur ces formations, qu'on trouve difficilement en Danemark, je crois pourtant devoir admettre en toute assurance que la tourbe, qui peut exister dans les forêts de pins sylvestres de

l'étranger et que j'y ai vue aussi, a été formée non pas avec le concours du tissu de racines des arbres de la forêt, mais bien par la végétation sur ce sol d'airelles myrtilles et de bruyères, fréquente sous cette essence. Dans les rares forêts de pins sylvestres du Danemark (la forêt de Brommer près Söro, la forêt de Hornback, l'enclos [*Gehege*] de Tidsvild), je n'ai trouvé aucune formation de tourbe, bien que le sol de ces forêts d'une certaine étendue semble particulièrement apte à développer cette forme d'humus.

Plus loin, la forêt de chênes paraît ne pouvoir donner naissance à une formation de tourbe qu'exceptionnellement ; aux places isolées où cette sorte d'humus se trouve dans les forêts de chênes, le tissu de racines, qui prend part à la formation, dépend sans doute de la végétation du sol, et la masse principale de la couche ne consiste pas, au moins pour les formations plus puissantes, en déchets de la forêt incomplètement détruits et formant un tissu avec la tourbe ; mais, principalement en un détritus organique fin vraisemblablement apporté sur la terre par la vie animale, les organismes vivants de la forêt.

Apparemment, la cause du pouvoir qu'ont les différentes végétations de former la tourbe est de nature passablement compliquée ; mais, pourtant toutes les plantes, dont les déchets se trouvent fréquemment déposés comme masse de tourbe, ont une propriété commune pleine d'importance : c'est-à-dire les efforts qu'elles font pour former dans la croûte terrestre même, sur sol sec, des tissus de racines. Ce fait a déjà été démontré auparavant, relativement au hêtre ; il a encore une valeur plus grande pour les plantes des landes, particulièrement la bruyère, aussi bien que, quoiqu'à un degré moindre, pour l'épicéa, mais pas du tout pour le chêne et le pin sylvestre. Le premier semble être le seul qui, parmi nos essences indigènes, malgré sa domination pendant des milliers d'années sur un emplacement maigre et extraordinairement sec, ne donne naissance que rarement à la tourbe et ne forme jamais un épais tissu de racines dans la croûte terrestre. Comme nous avons vu quel élément absolument essentiel de la tourbe représente, en général, le système de racines de la végétation dominante et à quel degré il contribue à donner à la tourbe sa densité et sa ténacité, on doit admettre,

en toute sûreté, que les particularités en question fournissent, pour les plantes de ces formes de végétation, un moment principal pour l'explication de leur disposition à former de la tourbe, sans qu'à côté de cela on doive contester que la nature chimique de leurs déchets peut favoriser la formation de ces couches ; ce qui est peut-être surtout le cas pour l'épicéa, dont les racines ne jouent pas le même rôle dans la tourbe que celles du hêtre et de la bruyère.

L'expérience faite dans l'enclos (*Gehege*) de Teglstrup, où des peuplements de même âge d'épicéas et de chênes se tenaient sur le même sol, mais avaient donné naissance à une forme d'humus différente, est un exemple caractéristique du pouvoir différent qu'ont les végétations pour la production d'une formation de tourbe.

Le rôle que les plantes arbustives citées jouent dans la formation de la tourbe par leur système de racines superficiel, est sans aucun doute double ; en ce sens, qu'en partie, la masse de déchets est liée en un épais tissu de ramifications de racines, en partie, la croûte terrestre est fortement desséchée et par cela même rendue habitable à un degré restreint pour la faune terrestre qui provoque la formation de l'humus. En outre, on ne doit pourtant pas oublier les formes de tourbe dont on a parlé dans les forêts de chênes et les prairies salées. Les premières sont des dépôts sur des emplacements qui comptent parmi les plus secs de notre pays, les dernières forment des amoncellements aux places où les organismes animaux qui forment la tourbe (*mullbildende Thierleben*), ont été tenus éloignés par des facteurs autres que la sécheresse, et nous le verrons plus tard.

Enfin, il est hors de doute que les mycéliums jouent un rôle très prépondérant dans la formation de la tourbe et contribuent à un haut degré à donner à la couche son épaisseur et sa ténacité. Nous avons auparavant appelé l'attention sur la signification extraordinairement grande qui doit être attribuée, à cet égard, aux fils de mycéliums bruns et noirs, lentement éphémères, de formes analogues aux cladospores ; mais à cela s'ajoute encore une armée de mycéliums, d'autres champignons saprophytes, dont le genre d'existence est presque inconnu, et l'action dont l'apparition en grande masse fait pressentir, en général, leur grande importance et dont l'influence,

au point de vue de la cimentation et de l'épaisseur qu'ils donnent à la masse de tourbe, ne peut être mise en doute. Ces tissus épais et tenaces de champignons manquent complètement dans le terreau bien défini, ou n'apparaissent que sporadiquement et n'ont pas le pouvoir de donner de la cohérence à la superficie du sol. Le thallus mousseux et le tissu d'autres végétaux inférieurs jouent le même rôle que les myçéliums dans la croûte terrestre.

On a déjà démontré dans la première partie de ce travail, pour la forêt de hètres, que les propriétés inégales des sols de terreau et de tourbe prètent souvent à la végétation une forme différente, en ce sens qu'elles donnent naissance à des flores locales absolument diverses. Cette différence se remarque aussi dans la forêt de chênes, où de misérables parties de tourbes ne portent pas la magnifique végétation de plantes à fleurs du sol de terreau et se distinguent surtout par une végétation d'airelle myrtille à côté du *Trientalis europæa*, du *Majanthemum bifolium* et de la *Potentilla Tormentilla* et du *Melampyrum pratense* qui se rencontrent plus rarement. Chez les landes, la différence apparaît moins forte, parce que la bruyère prédominante s'étend aussi bien sur la tourbe que sur le terreau ; un examen plus approfondi montrera pourtant que les lichens apparaissent rarement sur le terreau ou manquent complètement et que la camarine noire (*Empetrum nigrum*), ou bien ne se trouve pas sur les landes en forme de terreau ou pourtant au moins n'y joue pas à beaucoup près le même rôle que sur l'ancienne croûte de landes. Au contraire, les espèces d'hypnum, rares sur les anciennes landes, se trouvent souvent en grande quantité sur le terreau de landes.

Les différences dans la flore sont facilement compréhensibles, si l'on se rappelle les différences péremptoires, qui trouvent place relativement à la nature de la croûte terrestre, chez les deux formes d'humus. On a déjà parlé de la nature chimique différente du sol, qui est facile à comprendre ; mais il ne serait pas sans intérêt d'invoquer pour cela, en témoignage, l'influence qu'a eue sur le caractère de la flore la consistance différente des deux formes de sol même et ajouter que des conditions, auxquelles on pensait ne devoir attribuer de signification que pour le développement de la vie

animale, suffisent aussi, en elles-mêmes et pour elles-mêmes, à exercer une influence importante sur la croissance végétale.

La croissance végétale dans les parties des dunes, des landes et des sables nus correspondants offre un intéressant exemple de ce fait qu'un sol, d'après sa consistance, sans qu'il existe d'ailleurs aucune autre différence dans la nature minéralogique, peut avoir une flore différente. Sur les parties sableuses dénudées par le vent, la première plante qui lie la superficie est une petite mousse (*Polytrichum piliferum Schrebr.*[1]), dont les pointes brun verdâtre isolées s'élèvent de quelques millimètres au-dessus de la superficie, tandis que son thallus forme dans le sol un tissu si épais qu'il se laisse préparer comme un fascicule diminutif jaunâtre d'arbre à coton. Si la surface est affermie de cette façon, alors s'installent le *Thymian,* qui forme des tas isolés, et plus tard l'alisier blanc et l'arbrisseau de camarine noire, jusqu'à ce qu'enfin apparaisse la bruyère. Dans les dunes amoncelées par le vent, on ne voit, au contraire, au commencement aucune de ces formes de plantes ; le grand *Sandgrass* (*Psamma arenaria*) est ici le prédécesseur de la végétation ; si l'affermissement a commencé, le *Sandweide* (*Salix repens*) arrive ensuite, le sol se couvre souvent de mousse, et alors apparaissent premièrement les bosquets d'alisier blanc et de camarine noire, avec leurs longues vrilles. Ces deux formes de végétation, très différentes au début, se transforment peu à peu dans la végétation de bruyères qui recouvre toute la surface, quand le sol a atteint la même consistance aux deux places.

Un exemple de l'influence que peuvent exercer sur la flore les conditions servant tout d'abord au développement de la faune du sol, nous est offert par les prairies salées dont on a parlé, quoiqu'en même temps la quantité différente de sel qui existe dans le sol intervienne incontestablement comme moment déterminant. Pourtant, cette différence peut ne pas être d'une grande importance, car des flores différentes se trouvent quelquefois à une distance de peu de

1. La tourbe de landes, qui n'a pas été travaillée à la charrue, se couvre aussi, quand elle a été bien appropriée (*gelegen*) pendant un certain temps, d'une petite mousse, qui apparaît en petits amas isolés, ordinairement le *Polytr. juniperinum Hedw.* (déterminé par C. Rosenberg).

toises et avec une différence dans le niveau de moins d'un pied (0m,3138). L'illustre botaniste, Mlle C. Rosenberg, avec laquelle j'ai étudié ces emplacements, a rédigé, sur ma demande, un inventaire de cette flore, auquel est empruntée la classification suivante que je donne en abrégé.

A. Sur les prairies salées plus anciennes, placées un peu plus haut et rarement ou plus rarement inondées, dont le sol est recouvert d'une couche brun clair de tourbe, d'une épaisseur de 6 à 8 pouces (0m,1569 à 0m,2092), se trouvent :

a) Sur les places humides :

Principalement :

Triglochin maritimum L.
Agrostis alba L. v. *maritima Mey.*
Glyceria maritima L.
Glyceria distans Wahlb.
Festuca rubra L.
Plantago maritima L.
Odontites littoralis Fr.
Lepigonum marinum Wahlb.
Lepigonum leiospermum Kindb.
Glaux maritima L.
Trifolium minus Sm.

Plus loin :

Erythræa linarifolia Pers.
Erythræa pulchella Fr.
Eleocharis uniglumis Lk.
Artemisia maritima L.
Armeria vulgaris Willd.
Potentilla anserina L., etc.

b) Sur les places un peu plus élevées et plus sèches :

Principalement :

Potentilla anserina L.
Trifolium fragiferum L.
Trifolium repens, etc.

Plus loin :

Plantago major L. β *minima DC.*
Plantago lanceolata L. β *eriophyllum Dcne*, etc.

c) Sur de nombreux tas de fourmis de ces prairies :

Principalement :

Agrostis alba L.
Festuca rubra L.
Sagina stricta β *maritima Fr.*
Sagina procumbens L.
Cerastium vulgatum L.
Armeria vulgaris Willd.

Plus loin :

Medicago lupulina L.
Trifolium minus L.
Nardus stricta L.
Rumex Acetosella L.
Stellaria graminea L.
Plantago lanceolata L., etc.

B. Sur le bord des côtes recouvert de terreau, avec de nombreux excréments de vers de terre, qui n'est pas tout à fait protégé contre l'inondation de l'eau de mer, quoique celle-ci arrive plus rarement,

qui se trouve au voisinage immédiat de l'emplacement en question et est insensiblement plus élevé, croissent :

Principalement :

Holcus lanatus L.
Cynosurus cristatus L.
Plantago lanceolata L.
Plantago major L.
Trifolium repens L.
Trifolium procumbens L.
Trifolium pratense L.
Achillea millefolium L.
Sagina nodosa Torr. et Gray.
Brunella vulgaris, Mœnch.
Lotus corniculatus L.
Arenaria serpyllifolia L.

Plus loin :

Potentilla anserina L.
Potentilla repens L.
Bellis perennis L.
Trifolium fragiferum L.
Trifolium minus Sm.
Medicago lupulina L.
Inula salicina L.
Rhinanthus minor Ehrh.
Briza media L.
Agrostis alba L.
Agrostis vulgaris With.
Linum catharticum L.
Rumex acetosa L.
Gentiana Amarella L.
Bromus mollis L.
Ranunculus acris L.
Stellaria graminea L.
Achillea Ptarmica L.
Ononis repens L., etc.

Comme on le voit, des 31 plantes données dans la précédente liste, qui forment la riche flore des parties en forme de terreau, 7 seulement apparaissent assez généralement sur les prairies salées, et parmi celles-là, 3 seulement prédominent sur les tas de fourmis (*Ameisenhügel*) dont le sol forme, dans une certaine mesure, le passage au terreau. Mais si l'on tient compte seulement des espèces qui se rencontrent en plus grande quantité, qui donnent à la couverture végétale son caractère principal et qui sont désignées dans cette nomenclature comme existant principalement sur les emplacements en question, on verra qu'aucune de ces plantes n'est commune aux deux. Comme on l'a fait remarquer plus haut, le sol proprement dit (*eigentlich*) est ici toujours du sable de mer, et on peut à peine émettre un doute sur ce fait que le développement de la vie végétale et animale est la cause la plus importante des différences signalées dans la flore, sur le caractère de la superficie du sol.

Les animaux. — Dans la première partie de ce travail, on a appelé l'attention sur ce fait que le terreau, d'après sa structure, ses éléments fins et la vie animale qui se meut en lui, doit en plus grande partie à cette dernière ses propriétés les plus prépondérantes et ses

particularités plus importantes. Le grand nombre de recherches poursuivies que j'avais eu l'occasion de faire dans le laps de six années écoulées depuis la publication de la première série d'observations, et qui s'étendaient sur la plus grande partie des principaux emplacements de notre pays, dont la superficie du sol était naturelle, ont confirmé de la façon la plus essentielle les interprétations communiquées autrefois sur la signification de la vie animale pour la superficie de la croûte du sol.

De toutes les formes que revêt la vie animale, ce sont, comme on doit s'en souvenir, les vers de terre qui ont la plus grande influence sur la nature de la croûte du sol et il a été reconnu qu'ils sont liés d'une façon également constante aux sols de terreau dans les forêts de chênes, les landes et les forêts de hêtres.

Sous la broussaille épaisse qui recouvre le fond des forêts de chênes sur de bon sol, les vers de terre semblent particulièrement trouver leur champ de bataille (*Tummelplatz*). On découvre clairement que la croûte du sol consiste en excréments de vers de terre. La superficie sous la feuille est recouverte d'une masse graveleuse d'excréments mentionnée plus haut, et par le creusage, la terre se montre parfaitement meuble, comme une terre de jardin bien travaillée.

Si l'on s'arrêtait seulement aux sols de la forêt de chênes sur de bon terrain, on pourrait, malgré tout ce qui a été exposé autrefois par l'auteur et d'autres explorateurs sur l'importance des vers de terre, émettre un doute sur les actions de leur activité. Mais une étude de leur apparition dans les contrées de landes jütlandaises, jette, à ce qu'il me semble, une lumière décisive sur ce rapport.

Partout où la superficie du sol est en forme de terreau, où la végétation consiste en plantes caractéristiques du terreau, on trouvera, par une observation plus minutieuse, même là où le sol consiste en sable extraordinairement maigre ou fin, la superficie composée d'excréments de vers de terre, en partie frais et en partie à différents degrés de dissolution. Il n'est pas difficile, en général, de trouver les vers par le creusage et je n'ai examiné aucun emplacement dans les forêts de chênes avec du sol de terreau sans trouver de vers de

terre. Il y en a trois formes principales décrites auparavant dans les forêts de hêtres, à savoir : le petit *Lumbricus purpureus Eisen,* qui se tient surtout dans la couverture et dans les couches tout à fait les plus superficielles du sol, mais qui pénètre difficilement dans les profondeurs du sol et n'a pas de galeries stables ; après, l'*Allobophora turgida,* qui pénètre en fouillant le terrain supérieur et n'apparaît pas régulièrement à la superficie, et enfin une grande espèce de lombric qui a des passages déterminés (fixes) et qui se tient la nuit ou pendant les journées de pluie sombres à la superficie. Ici, dans les maigres contrées du Jütland, le grand *Lumbricus terrestris* ne représente pas comme dans les forêts de hêtres des îles sur de bon sol, cette partie de la famille des vers de terre, dans les derniers restes des forêts de chênes des régions de landes, mais bien le *Lumbricus. rubellus,* un peu plus petit. Les petites formes d'*Enchytreus,* qui apparaissent souvent en grande masse et participent à l'œuvre de mélange, manquent aussi peu dans les emplacements dont on parle ici que dans les forêts de hêtres.

Mais aussi, sous les bosquets isolés de chênes à croissance rabougrie dans les landes, on trouve le ver de terre partout où le sol est en forme de terreau. Un pareil petit bosquet isolé, dont la hauteur s'élève souvent à 2 pieds ($0^m,6277$) et dont le diamètre varie entre 4 et 5 pieds ($1^m,255$ à $1^m,569$), a dans le terreau sa population de vers de terre, et, en dépit de son étendue restreinte, représente une oasis forestière parfaite dans le désert de la lande. Dans la plupart des touffes que j'ai examinées, j'ai trouvé trois sortes de vers de terre, même dans *Tykskov Krat,* bas placé. Mais çà et là manque l'un ou l'autre des membres de la famille. Ainsi, dans les broussailles de chênes que j'ai examinées dans le boqueteau de Skarrild, je n'ai trouvé que le petit *Lumbricus purpureus ;* mais ici j'aurais pu, rien que d'après l'examen de la superficie du sol, prévoir avec certitude que la masse graveleuse du sol montrait une structure beaucoup plus fine et plus homogène que d'ordinaire, et consistait en fait presque exclusivement en excréments de cette petite forme mélangés avec du sable.

Les galeries souvent très rapides, qui se trouvaient à la lisière ou au bord d'un *Krattbusch* dans la nature du sol, marquaient aussi les

limites de l'existence des vers de terre ; dans les sols de landes recouverts de tourbe, je n'ai trouvé aussi qu'un seul ver de terre. Au contraire, j'ai rencontré deux fois, dans la superficie des couches de tourbe qui existent çà et là dans les forêts de chênes, un seul petit ver ; seulement les deux exemplaires appartenaient aux petites formes qui vivent à la superficie et jouent, en général, un autre rôle que les espèces qu'on a nommées plus haut [1].

Quoique les hypothèses émises plus haut signifient que les vers de terre ont pu se tenir dans les derniers restes des anciennes forêts de landes du Jütland sur sol sableux, qu'un reste aussi modeste qu'un bosquet de chênes à croissance rabougrie suffit pour former un emplacement convenable pour eux et que l'activité de ces animaux conditionne la formation du terreau proprement dit, ces conclusions recevraient une confirmation de grande valeur, s'il était possible de trouver sur les landes mêmes des lignes telles que, sans être protégées par la végétation forestière, elles offrissent cependant des conditions favorables pour l'existence d'une population de vers de terre et pussent produire le même résultat de leur travail que dans les forêts. De tels emplacements se trouvent, comme on l'a déjà mentionné, en réalité dans les régions de landes du Jütland moyen, et l'auteur a trouvé sur toutes les surfaces de landes en forme de terreau décrites plus haut, la croûte terrestre peuplée par les trois formes de vers en question.

Mais ces emplacements ont sans aucun doute, comme circonstance commune, que la formation de landes est ici, comme on l'a déjà indiqué, d'origine relativement tardive ; et la conclusion, facile à concevoir, est que les vers de terre, même après la disparition des forêts, peuvent se maintenir encore plus longtemps sur certaines lignes plus favorables et peuvent conserver le terreau par leur travail poursuivi.

---

1. Outre le *Lumbricus purpureus*, qui se tient principalement sur la superficie, il existe plusieurs sortes rouge brun d'autres espèces, particulièrement le genre *Allophobora,* qui vivent de bois à moitié pourri et de feuilles ; on les trouve dans les chandeliers (*Baumstumpf*) et aussi bien au haut des arbres dans les branches pourries et analogues, et il semble, d'après cela, qu'ils n'ont pas besoin de manger (*verschlingen*) la terre pour digérer leur nourriture.

On a mentionné plus haut que la taupe suit, en général, les vers de terre. Aussi, dans les contrées de landes jütlandaises, on peut faire cette supposition et même sur le sol de bruyère en forme de terreau (par exemple sur la lande de *Finderup*), et un observateur de landes expérimenté peut constater ce phénomène au plus haut point frappant que les tas de taupes se trouvent dans la bruyère ; ils sont un indice certain que le sol est recouvert de terreau et labouré intimement par les vers de terre.

Pour l'explication plus complète de l'apparition des vers de terre et de leur rapport avec la nature de la croûte terrestre, on a cité quelques hypothèses, faites sur des emplacements d'espèce tout à fait différente de celle de ceux dont on a parlé

Dans les contrées de landes jütlandaises, particulièrement dans les derniers temps, avec le concours de la Société de culture des landes (*Haidecultur-Gesellschaft*), des prairies ont été créées en refoulant l'eau des ruisseaux et en l'amenant sur des surfaces recouvertes de tourbe de landes ordinaire. Déjà, un an après le commencement de l'irrigation, la bruyère périt lentement, et, environ trois ans après, fut remplacée par une jolie couverture de gazon. Si l'on examine le sol d'une telle prairie de nouvelle formation, on remarque que l'ancienne croûte ferme de lande a disparu, s'est transformée parfois en un terreau un peu bourbeux ou d'une épaisseur de un à deux pouces (0^{m},0261 à 0^{m},0523), ou a été remplacée par lui. Ce terreau est le séjour principal pour les racines de la végétation et recouvre, souvent avec une délimitation bien tranchée, le sable maigre et en partie recouvert de végétation. Cette couche de terreau humide renferme une riche population de vers de terre, là où peu d'années auparavant il n'existait aucun de leurs représentants et la transformation de la tourbe en terreau a pris ainsi naissance en même temps que s'est faite l'immigration de ces animaux. Dans les prairies irriguées sur *Hesselvig,* dans *Kirchspiel Arnborg,* où j'ai eu l'occasion de faire cette observation, j'ai recueilli moi-même, en partie, une grande quantité de vers et l'autre partie m'a été remise par l'ingénieur Christensen. Ces vers appartenaient, en partie, à l'*Allobophora turgida,* qui se trouve ordinairement dans le sol en forme de terreau des landes, en partie et principalement à une plus petite

espèce qui paraît être particulière aux emplacements de cette sorte, et que je n'avais jusque-là jamais trouvée dans les régions de landes [1].

Les observations qu'on peut faire sur l'apparition des vers de terre sur les prairies salées semblent compléter d'une façon instructive celles citées plus haut. Dans les prairies salées mentionnées plus haut, la tourbe de prairie qui s'y trouve est tout à fait dépourvue de ces animaux, tandis qu'au contraire ils se rencontrent en grande masse aussi bien dans le sol en forme de terreau qui se trouve sur les places, exceptionnellement atteintes par les hautes eaux, que dans les anciennes surfaces endiguées, dans lesquelles la tourbe de prairies a été transformée peu à peu en terreau. Ici aussi, la formation du terreau et l'apparition des vers de terre sont des phénomènes concomitants; le sol salé ne se recouvre pas de terreau, mais il est soit mouillé, soit recouvert de tourbe, même lorsqu'il est endigué, et ici se trouvent de petits vers de terre ; ils semblent ne pas supporter l'eau salée [2] et le propriétaire Hofman-Bang m'a communiqué que chaque fois que l'eau, s'élevant à une hauteur inaccoutumée, inonde le champ et le sol de prairies en forme de terreau, la superficie est parsemée de vers de terre morts, quand l'eau se retire des parties submergées. Il me semble que la conclusion irréfutable et juste de ce fait est que là où le ver de terre ne peut pas vivre, le terreau proprement dit manque.

Enfin, il faut encore mentionner une observation faite sur une troisième forme de prairies, qui jettera une certaine lumière sur les relations des vers de terre avec la végétation. Transversalement à un marais tourbeux dans la forêt de Folehave dans le nord de Seeland, un fossé est disposé pour la conduite de l'eau. Sur un des côtés de cette ligne, créée par l'art, un peuplement d'aunes blancs et d'autres arbres exploité en taillis, forme un épais boqueteau en bel état de croissance ; sur l'autre côté, le terrain est défriché depuis une époque antérieure à l'âge de l'homme et utilisé comme sol de prairie.

1. Cette espèce est une plus petite forme d'*Allophobora* fortement colorée qui se rapproche beaucoup de l'*A. arborea Eisen*, et ce n'est pas la même espèce.

2. Darwin a dit aussi, dans *The formation of vegetable mould,* que l'eau de mer tuait facilement les vers de terre.

La prairie, ainsi obtenue, est maintenant mauvaise ; de grandes places sont seulement recouvertes d'une végétation misérable de mousse et d'un petit nombre d'arbres isolés qui paraissent s'étioler. Le sol, sur les deux côtés du fossé, paraît être de la même nature, mais dans la partie sur laquelle croît la forêt, se trouve une riche population de vers de terre, dont les excréments recouvrent la superficie sous la feuille, tandis que dans les mauvaises parties de la prairie, je n'ai pu trouver aucun de ces vers. Dans un été humide, je fis creuser un certain nombre de trous grands et profonds aux deux côtés du fossé, et ces trous se remplirent bientôt entièrement d'eau. Après un laps de huit jours, gisaient, du côté boisé du fossé sur le sol de ces petits bassins, une quantité de vers noyés, mais pas un seul dans les trous de l'autre côté ; ce qui devait renforcer mon opinion que ces animaux ou bien n'existent pas du tout ici, ou seulement en un nombre très restreint.

S'il doit être admis comme indubitable, d'après la structure de la superficie du sol et d'après toutes les explications d'autrefois, que le ver de terre est un facteur principal pour la formation de l'humus poreux, il y a cependant intérêt à rechercher si d'autres espèces d'animaux ne jouent pas un rôle essentiel à côté des vers de terre. Il est à peine possible de trouver, pour répondre à cette question, un emplacement meilleur que la petite oasis de terreau sous un *Krattbusch* isolé sur la lande, parce qu'ici beaucoup d'autres facteurs troublant qui se trouvent autre part se tiennent éloignés pour la recherche.

Lorsqu'on écarte les branches d'une pareille petite touffe de chênes, on découvre aussitôt à l'intérieur de l'ombrelle une vie animale beaucoup plus active qu'à l'extérieur. Une quantité d'insectes de différents ordres bourdonnent entre les branches, sur la terre abonde une quantité de fourmis et il se trouve là de nombreux scarabées (coléoptères, *Käfer*), des araignées, des orthoptères, des landisopodes et myriapodes, parmi lesquels souvent beaucoup de scolopendres, les ennemis enragés des vers de terre. Le terreau lui-même donne asile, non seulement aux vers de terre, à une vie animale relativement riche, notamment en larves d'insectes, mais, quoique mon attention fût dirigée tout particulièrement vers la question de savoir si des formes d'animaux autres que les vers de

terre ne participaient pas essentiellement à la formation du terreau sur un tel emplacement, je n'ai pourtant trouvé ni les individus dans un nombre tel, ni les formes d'une espèce telle qu'il pût être question de comparer seulement approximativement le travail qu'ils exécutaient, pour mélanger les particules du sol avec celui des vers de terre. Mais, d'autre part, on ne doit pourtant pas ne pas tenir compte que ces derniers étaient un peu soutenus dans leur activité pour l'ameublissement du sol par les larves des petites espèces de hannetons, de larves d'*Elater Diptera,* etc., qui se présentent souvent dans le terreau en nombre assez considérable, et que les fourmis, qui apparaissent en nombre vraiment considérable, contribuent également à maintenir la superficie poreuse.

La lande, en dehors de la broussaille, n'est pas, à la vérité, un désert, si l'on entend par là qu'elle doit être dépourvue de vie animale ; par une journée d'été chaude et silencieuse, on entend, dans la bruyère, le bourdonnement des formes de *Diptera* et le bouillonnement (*Zischen*) des orthoptères et autres insectes ; mais, autant que je l'ai pu remarquer, la lande est pourtant beaucoup plus pauvre, aussi bien en espèces qu'en individus, que la broussaille et que presque pas de formes d'animaux plus grandement organisés ne paraissent se tenir dans le sol même.

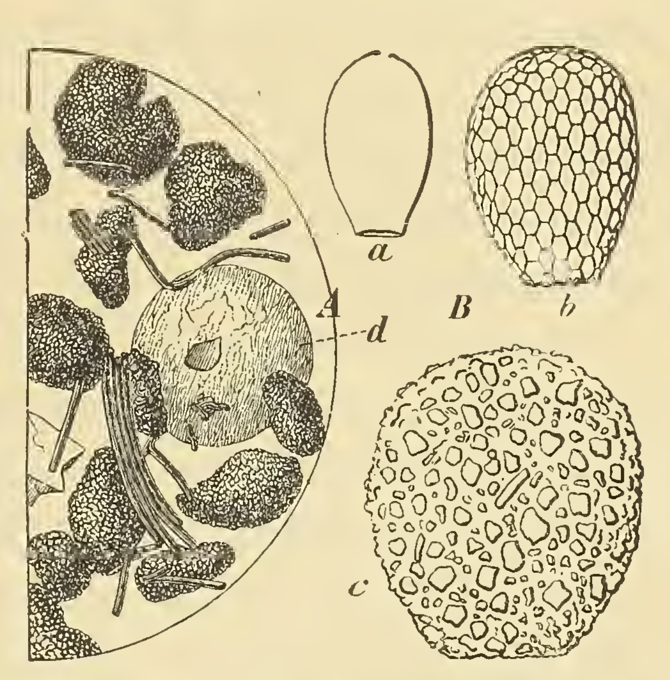


Fig. 15. — A $\frac{110}{1}$ les déchets organiques les plus fins dans la tourbe de hêtre (*Teglstruper Gehege*), excréments animaux, fragments d'un mycélium noir brun et *d* l'écorce d'une « Arcella ». — B $\frac{180}{1}$ Écorces de *a* « Gromia » (?), *b* « Euglypha » et *c* « Difflugia », recouvertes de corps étrangers.

D'autre part, la tourbe donne asile à une faune de créatures existant à la partie la plus basse, qui ordinairement apparaissent en bandes si innombrables, que chaque particule de tourbe, grosse comme une tête d'épingle, renferme un certain nombre d'individus ou pourtant au moins leurs écailles. Ce sont des formes appartenant au groupe des *Monothalamies,* dans la classe des *Rhizopodes,* et qui sont à compter principalement comme appartenant aux espèces

Arcella Ehrenberg, Difflugia Ehrenberg, p. p., plus loin *Gromia Dujardin* et *Euglypha Dujardin;* ou comme proches parentes de celles-ci au moins, autant qu'on peut les déterminer d'après les écorces. Enfin, j'ai eu seulement peu d'occasions d'étudier les animaux d'ailleurs se trouvant dans les parties les plus basses représentant essentiellement une seule cellule et qui habitent dans ces gousses-écales.

Quand je me suis efforcé de trouver ce qui constituait l'aliment des vers de terre dans la terre qu'ils engloutissaient, j'ai dirigé mon attention sur les rhizopodes, car il m'était bientôt apparu clairement que les mycéliums, facilement décomposables, existant dans le terreau, se trouvent à peine en masse assez grande pour pouvoir fournir, à eux seuls, à ces animaux relativement grands, un aliment azoté suffisant. J'avais donc d'autant plus l'occasion de rechercher les monères, qu'il était connu, d'après les recherches d'Ehrenberg [1], Post [2], Greef [3], Schneider [4] et autres, que de pareils petits êtres, dont la masse principale consiste en animaux aquatiques, existent aussi dans la terre.

A ma grande surprise, je ne trouvai pourtant aucune *monothalamie* dans le terreau proprement dit sur un sol haut placé, tandis qu'au contraire, comme on l'a mentionné, elles se présentent tout aussi bien sur la lande que dans la forêt en énorme quantité et n'ont jamais manqué dans aucun des échantillons de tourbe que j'ai examinés. Il est vraisemblable, d'après les données d'autres auteurs, que des rhizopodes existent aussi dans le terreau, au moins dans la couverture sur le sol forestier, mais, d'après mes recherches, ce devait être principalement des formes d'amœbes des rhizopodes nus (*Athalamia*), qui habitaient ici [5], car je n'ai jamais trouvé, malgré un

1. Ehrenberg, *Mikrogeologie*, Leipzig, 1854; notamment tableau XXXIV.

2. H. von Post, *Nutidens Koprogena Jordbildningar*, p. 41 (*Sv. Vetensk. Akad. Handl.*, t. IV, 1862).

3. R. Greef, *Ueber einige in der Erde lebenden Amœben und andere Rhizopoden* (*Sur quelques amœbes et autres rhizopodes vivant dans la terre. Arch. f. mikr. Anat.*, t. II, Bonn, 1866, p. 299).

4. Schneider, *Sur quelques Rhizopodes terricoles* (*Comptes rendus*, t. LXXXVI, 1878, p. 1557).

5. Par exemple, parente de l'*Amœba terricola*, de Greef.

examen d'échantillons de terreau provenant d'une série véritablement considérable d'emplacements forestiers et de landes, des enveloppes de *monothalamies* dans le terreau typique, qui n'était pas déposé à des places basses. Aussi loin que se sont étendues mes études, je dois admettre, à ce point de vue, que les *monothalamies* avec leurs formes différentes et particulièrement avec leurs innombrables troupes d'individus sur les sols haut placés, sont caractéristiques de la forme humique tourbeuse [1]. Celle-ci doit d'ailleurs être aussi excellemment propre pour elle ; car, dans les périodes où l'eau pénètre à travers le sol, celui-ci offrira un emplacement semblable à celui du limon, dans lequel beaucoup d'autres formes d'eau parentes séjournent, et, quand il se dessèche, ces petits êtres ont en partie la faculté de s'enkyster (*sich encystiren*), en partie de se dessécher, de sorte qu'ils passent le temps jusqu'à la plus prochaine période d'humidité dans un état d'engourdissement.

Outre les rhizopodes, se trouvent de plus dans la tourbe de grandes quantités de formes de vers pour la plupart microscopiques, particulièrement du groupe des Anguillules, qui appartiennent à l'espèce des nématodes.

Cette vie animale microscopique contribue bien conjointement avec les champignons à la destruction des restes organiques, mais ne peut, à aucun degré essentiel, amoindrir l'épaisseur et la ténacité

1. Il est, cela va sans dire, très difficile d'établir l'absence de tels petits êtres dans un sol, en partie parce qu'on ne peut soumettre à un examen que de très petites quantités, en partie parce que les éléments les plus fins du sol de terreau offrent pour la recherche microscopique des difficultés relativement grandes. Il doit donc pour cela être allégué ici que les observations ont été faites sur une série d'échantillons de terre, provenant surtout des forêts naturelles de chênes dans les différentes régions du pays (sud de Seeland, Lolland, Jütland) et à la vérité aussi bien des sols argileux que des sols sableux. Les échantillons ont été prélevés dans la couche graveleuse superficielle du sol, gisant immédiatement au-dessous de la couverture et la recherche fut dirigée en partie sur ces matériaux même et en partie sur la fine terre humique, limonée avec soin. On ne découvrit dans cette recherche aucun individu des formes de *Monothalamies* qui existent en quantités énormes dans la tourbe. Ehrenberg, tout aussi bien que Post, admet à la vérité que les genres *Difflugia* et *Arcella* existent dans l'humus en grandes masses. Il n'est cependant pas évident de quelles formes d'humus il s'agit, et dans le travail d'Ehrenberg, il est difficile de distinguer entre l'humus réel du sol sec et les formations d'eau douce.

de la masse. Si cependant on tient compte de ses innombrables troupes, il est vraisemblable qu'il joue un rôle important en cimentant l'azote de la tourbe. Ces animaux sont peut-être les porteurs (*Träger*) d'une grande masse des combinaisons azotées qu'on trouve dans la tourbe et il doit, dans la représentation de cette faune terrestre, s'imposer une méfiance contre la signification d'une analyse chimique exclusive, comme explication de la nature de la croûte terrestre qui porte la végétation.

Transformations physiques et chimiques du sol.

Si, en se basant sur la série d'observations communiquées plus haut, on est arrivé à la supposition que le caractère propre de la croûte terrestre dans les landes jütlandaises, sur un grand nombre d'étendues considérables, est dû à une transformation de la forme particulière aux restes des anciennes forêts de chênes qui se trouvent dans ces régions, aussi bien que cette transformation extraordinairement significative doit, à un degré essentiel, son origine aux changements dans la vie organique des emplacements, alors la plus prochaine phase de l'examen sera la recherche faite en vue d'obtenir une connaissance du processus même qui a produit du terreau meuble des forêts sur le sol sableux, uniformément coloré en jaune d'ocre, la couche bleu noir de la lande sur des formations souvent puissantes de sable plombifère et d'*Ortstein*.

La première étude conduit le chercheur à une telle quantité de procédés hétérogènes, que celui qui ne désire pas remplacer l'observation et l'expérience par l'hypothèse est facilement découragé par la crainte de ne pouvoir suivre d'une façon exacte tous les membres distincts du phénomène. Mais, je crois pourtant que si l'on réfléchit d'une façon plus précise à l'organisation de la recherche, le courage sera ranimé.

D'une part, il doit sans doute être convenu qu'il y a une grande troupe de facteurs qui participent, en chaque endroit, à la formation du caractère de la croûte terrestre. Ainsi, il ne peut exister aucun doute sur le fait que des organismes inconnus jouent vraisemblablement un grand rôle en différente masse et avec une activité d'un

genre différent, que les conditions d'humidité de l'emplacement, l'inclinaison du terrain et avec cela la chaleur du sol, des différences dans le caractère minéralogique du sol, la quantité de terre fine et de grains du squelette exercent une influence considérable sur les procédés chimiques et physiques qui ont lieu à toute place et que ceux-ci peuvent être en eux-mêmes de caractère très composé, surtout là où des matières humiques existent ; un examen plus approfondi de la variété du phénomène n'excite donc pas à s'en occuper. Mais, d'un autre côté, il me semble que la particularité essentielle et la plus fréquente de la formation de lande peut ne pas être le résultat d'une action réciproque, confuse, de facteurs variés. Si l'on pense que les landes jütlandaises dans leur grande uniformité recouvrent, sur environ cent milles carrés, des hauteurs et des vallées de la presqu'île, des pentes orientales et occidentales, des surfaces basses et hautes et des chaînes de montagnes escarpées, et qu'elles sont en relation avec les formations tout à fait analogues, seulement encore plus étendues de la bouche du Rhin jusqu'à la Russie et de la mer Baltique jusqu'aux chaînes de montagnes de l'Allemagne centrale, et qu'il se trouve vraisemblablement à beaucoup d'autres places, dans des régions à climat tempéré et froid, des formations tout à fait analogues avec des sols d'alluvion et de diluvium, on doit arriver nécessairement à conclure qu'il existe une nombreuse variété de facteurs exerçant leur action commune à chaque endroit pour donner au sol de lande son caractère qu'il y a pourtant quelques-uns d'entre eux qui peuvent exister communément partout, et doivent dominer si complètement les autres qu'ils déterminent le phénomène à un degré prépondérant. Cette considération encourage à une recherche dont le but serait de pénétrer au fond de l'être intime de la transformation, et la recherche doit, d'après cela, être dirigée sur des conditions telles qui existent généralement là où la formation de lande s'accomplit.

Homogénéité du sol (*Konsistenz*). — Aussitôt qu'on quitte le boqueteau de chênes avec son terreau meuble et qu'on pénètre dans la lande de bruyères, le sol a une autre homogénéité. La surface de lande qui loge les vers de terre, repose encore sur un sol passablement meuble qui cède encore facilement à la bêche ; mais si les

vers de terre ont disparu, alors la tourbe tire sur le sol sa couverture de fil épaisse, devenant toujours plus grosse et pendant que cette couche enserre le terrain, le sable riche en humus, originairement meuble, prend peu à peu une épaisseur et une fermeté plus grandes. Déjà, sur l'emplacement représenté par le tableau III, figure 3, le sous-sol se laisse couper en morceaux carrés comme du fromage et une partie ainsi découpée a la même cohérence qu'un herbage inculte (*Grassode*) ; mais, s'il existe auparavant là une couche de tourbe, alors celle-ci peut atteindre une épaisseur très considérable. Je ne puis citer aucune meilleure preuve de la fermeté que des sols sableux meubles en eux-mêmes peuvent atteindre dans cette couche superficielle que celle fournie par une pareille tranche de terre, recouverte d'une végétation de bruyère sur une couche mince de tourbe, durcie par un desséchement complet, à l'air ferme et à arête vive comme une brique ordinaire. Ce morceau de terre se trouve parmi mes préparations et conserve encore maintenant, après un laps de six années, sa fermeté. Caractéristique et sans doute plein d'importance pour le passage de la superficie en forme de terreau de la forêt de chênes aux sols tourbeux de la lande, outre l'enserrement du sol par la couche de tourbe, est aussi le développement d'une grande épaisseur et d'une grande fermeté dans les couches superficielles. C'est à peine si l'on a émis un doute sur ce fait que ce sont les racines de bruyères qui cimentent particulièrement les particules de terre, mais à cela on peut encore ajouter que celles-ci forment encore un dépôt plus épais, lorsque les bandes de vers de terre, qui continuellement fouillent, creusent et ameublissent le sol, disparaissent.

Cela résulte des recherches faites dans les forêts de chênes se tenant sur un sol moins pauvre en argile et recouvert par d'anciennes formations de tourbe. Ici, l'on peut, à vrai dire, remarquer à certaines places que le sol sous cette couche tourbeuse, et même le sable plombifère est devenu si ferme qu'il se laisse à peine percer, quoiqu'il appartînt auparavant à la partie supérieure du sous-sol meuble, bien mélangée et bien travaillée, qui a quelques places où les vers de terre sont encore restés, a conservé tout à fait son caractère typique de terre de jardin bien travaillée. C'est l'eau de la

superficie qui, en s'infiltrant, produit un affaissement de la terre par limonage (*Schlämmung*) et resserre les intervalles séparant les plus gros éléments des plus fins par le limon transporté par l'eau [1].

Conditions d'humidité du sol. — Il est vraisemblable en soi que le mouvement de l'eau doit subir des changements, suivant que la tourbe se développe et on doit admettre aussi que l'homogénéité du sol se change et que ce rapport doit avoir une grande influence sur le caractère de l'humification. Mais pour pouvoir trouver l'explication de ce rapport par des observations directes, j'ai fait, avec l'assistance de MM. le professeur Tuxen et le garde-bois Borch, dans l'été de 1880, une série de recherches sur l'humidité dans le sol de landes nu et recouvert de tourbe. Nous avions l'intention de poursuivre ces déterminations dans l'année suivante ; mais malheureusement la série des recherches fut interrompue, si bien qu'il n'a été fait que des observations en quelque sorte valables pour une année. Au cas où l'on objecterait que cela est à peine suffisant pour un éclaircissement complet du rapport, les déterminations communiquées plus bas donneront des indications très caractéristiques.

Dans la plantation de Birkeback, au sud de Herning, on examina un terrain dont la superficie est moyennement unie, passablement haut placée, où n'existe pas d'eau souterraine et qui renferme ce qu'on appelle sable nu (*Sandblösse*). La croûte de la lande a été ici emportée par le vent depuis beaucoup d'années, si le sable forme la superficie, tandis que les éléments de la croûte de la lande, du sable plombifère et de l'*Ortstein* ont été déposés à quelque distance dans les dunes (*Kytter*). Sur ces places dénudées commençaient à se montrer çà et là de petites touffes isolées de thym, de mousse et de bruyère, mais, en général, le sol était nu et le sous-sol dénudé. La lande qui entourait ces places, était de caractère normal ; sa super-

1. Ce procédé peut se démontrer facilement en entier par l'expérience suivante : Si l'on verse la terre meuble dans un entonnoir cylindrique et qu'on verse de l'eau par-dessus, cette eau passe très rapidement au début à travers cette terre, puis plus lentement, et peu à peu, l'état des particules de terre peut être devenu tel, que la filtration exige un temps très long.

ficie était à peu près sur le même niveau que la superficie nue et les conditions du terrain tout à fait les mêmes.

Sur la lande et sur la surface de sable, on préleva à peu près tous les quatorze jours, de mai à octobre, un échantillon à une profondeur de 5 et demi à 8 pouces ($0^m,1438$ à $0^m,2092$) [c'est-à-dire à la place du sol correspondante à celle où la couche de sable plombifère se trouve dans la lande] et un autre échantillon à une profondeur de 24 à 29 pouces ($0^m,62769$ à $0^m,75846$).

On prélevait d'abord l'échantillon du sable plombifère de la lande ; la profondeur à laquelle on devait aller, pour arriver à la partie typique de la couche, était chaque fois déterminante pour la profondeur à laquelle était retiré l'échantillon superficiel dans le sable nu. De la même façon, la profondeur dans la lande où il n'existait plus de traces distinctes de formation d'*Ortstein* était déterminante pour la profondeur à laquelle on devait obtenir un échantillon du sous-sol typique. Le prélèvement des échantillons se faisait de la façon suivante : la terre extraite du trou fraîchement ouvert était comprimée dans un vase hermétiquement fermé par un bouchon de verre graissé avec du suif. Tous ces verres étaient envoyés à Copenhague, et là, la quantité d'eau de chaque échantillon était déterminée par pesée, à l'état frais et après dessiccation à 100°.

Le tableau suivant donne les taux d'humidité moyenne obtenus dans une recherche de ces déterminations d'humidité dans les différentes couches de la terre.

ANNÉES D'OBSERVATIONS.	LANDE. — Profondeur		PLACES DE SABLE dénudées par le vent. — Profondeur	
	environ 6 pouces ($0^m,1569$).	environ 26 pouces ($0^m,6800$).	environ 6 pouces ($0^m,1569$).	environ 26 pouces ($0^m,6800$).
	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
1880. — 12 observations. . . .	7.71	5.32	3.10	3.61
1881. — 6 observations	7.32	5.26	2.71	2.87
Moyenne. — 18 observations . .	7.58	5.30	2.97	3.37

Il ressort de ces nombres qu'une différence vraiment considérable

et constante dans l'humidité du sol existe sous la tourbe de lande et le sable nu (*Sandblösse*) ; certes, on peut admettre que la quantité d'eau dans la superficie est en général deux fois plus grande sur la tourbe que dans le sol nu à la même profondeur ; la différence dans le degré d'humidité de ces deux emplacements disparaît, à la vérité, avec la profondeur ; mais, même à une profondeur de deux pieds (0^m,62770), la différence est encore importante.

L'étendue relativement modeste des observations et des particularités du sol des landes ne paraît pas permettre raisonnablement d'établir une comparaison plus proche entre les observations en question et les résultats des recherches d'autres, et, à la vérité, d'autant moins qu'il ressort aussi bien directement des travaux de Johnstrup qu'indirectement de ceux d'Ebermayer et de Wollny sur cette circonstance, qu'une pareille entreprise est chose très difficile.

Ainsi, on remarquera que le sol de tourbe est, dans un été où les averses sont très abondantes, le plus humide sur la superficie, tandis que l'eau provenant de la pluie disparaît rapidement de la croûte terrestre sur le sol meuble, en partie, bien qu'à un degré restreint, par évaporation, en partie et à la vérité principalement par infiltration à de plus grandes profondeurs. Cette circonstance doit s'expliquer par ce fait que l'évaporation est ralentie à un haut degré par le sol sous la tourbe, aussi bien que l'eau de pluie doit être arrêtée dans sa pénétration dans les profondeurs d'une façon tout à fait considérable ; car, sans cela, la différence entre le sable plombifère et le sous-sol n'aurait pu être ni si grande, ni constante, car l'éloignement des points sur lesquels avaient été prélevés les échantillons s'élevait seulement à environ 20 pouces (0^m,52308)[1].

1. Une recherche antérieure faite par le professeur Tuxen (voyez *Tidsskrift f. Skovbr.*, t. I, p. 284) sur des échantillons de la même lande, montrait que la force de retenir l'eau (*Wasserhaltende Kraft*) était à peu près la même dans le sable plombifère et le sous-sol, c'est-à-dire 30 p. 100, tandis que dans la terre rouge elle était presque deux fois plus grande. Comme, en outre, la quantité des particules d'humus mélangées dans le sable plombifère est petite, la différence dans l'humidité des deux couches examinées peut à peine être attribuée à une cause autre que la différence dans l'évaporation et la rapidité du transport par l'eau (*Wasserbewegung*).

Une observation de la quantité d'eau à une profondeur comprise entre 6 pouces (0^m,1569) et 26 pouces (0^m,6800), montre une différence beaucoup plus restreinte. Cette circonstance est sans doute due à ce que la terre rouge, à cause de son épaisseur et du pouvoir qu'ont les substances organiques qu'elle renferme d'aspirer l'eau, surtout quand celles-ci sont à l'état humide ou imbibées d'eau, n'est traversée que très lentement par l'eau. D'ailleurs, la terre rouge, sur le terrain où les échantillons ont été prélevés, n'était ni remarquablement puissante, ni ferme et n'opposait pas au creusement une résistance plus grande que le sous-sol sableux lui-même. On peut donc conclure de là que des couches épaisses et fermes d'*Ortstein*, en vertu de leur pouvoir de retenir l'eau, doivent amener une véritable transformation du terrain en marais.

Pour pousser plus loin les conclusions, le matériel est à peine suffisamment vaste, mais, avec quelques restrictions, on peut pourtant, par la comparaison des seules déterminations d'humidité avec les observations sur la quantité de pluie recueillie pendant la même année à la Station météorologique de *Birbebäk,* située à une distance de 2 kilomètres, obtenir la représentation suivante sur le mouvement de l'eau dans le sol.

Tandis que de fortes averses pénètrent si vite dans le sol sableux nu que le sous-sol déjà après deux jours est assez sec à une profondeur de 6 pouces (0^m,1569), mais contient beaucoup d'eau à 2 pieds (0^m,6277) au-dessous de la superficie ; d'où il ressort que l'humidité met à peu près un temps aussi long pour traverser la tourbe d'une épaisseur de 3-4 pouces (0^m,0784-0^m,1046) que pour atteindre une profondeur de 2 pieds (0^m,6277) dans le sable, et il faut 14 jours environ pour qu'elle puisse pénétrer à travers la couche de terre rouge. (Observations de juin.) Dans les mois de printemps, la tourbe retient si bien l'humidité d'hiver que le sable plombifère, 6 pouces (0^m,1569) au-dessous de la superficie, même après un mois d'avril très sec, est tout aussi humide que le sol sableux nu à une profondeur de 26 pouces (0^m,6800.) Une période plus longue avec de faibles pluies fréquentes, maintient la couche sous la tourbe si humide qu'elle est beaucoup plus mouillée que le sous-sol ; ces faibles chutes de pluie apportent une quantité d'eau inférieure à

celle qui peut pénétrer à travers l'*Ortstein*. (Observations de juillet et d'août.) Immédiatement après une période automnale de sécheresse de plus de trois semaines, le sol habillé de tourbe est, à une profondeur de 6 pouces (0^m,1569), tout aussi sec que le sol nu. (Observations d'août et de septembre.)

Ces observations montrent, à ce qu'il nous semble, malgré leur courte durée, qu'un passage d'un sol sableux meuble à une superficie ferme et revêtue de tourbe, avec une différenciation dans les couches superficielles, dans le sable plombifère et la terre rouge, entraîne avec lui une transformation énergique dans les conditions d'humidité de la croûte terrestre, dont l'importance est si grande pour l'humification. Dans les années pluvieuses et particulièrement à l'époque humide de l'année, surtout dans les mois d'automne, le sol de landes est, en partie à cause du pouvoir qu'a la tourbe d'aspirer l'eau, en partie à cause de sa protection contre l'évaporation, et enfin, en partie à cause de l'impénétrabilité de la terre rouge, même sur le sol sableux le plus sec et le plus haut placé, riche en humidité ou même mouillé ; au contraire, dans les périodes sèches où la tourbe, en vertu de sa couleur noire, est bien chauffée et par suite fortement desséchée, la croûte terrestre sur la couche de terre rouge deviendra extraordinairement sèche, parce que l'hygroscopicité pourra à peine lui amener l'humidité du sous-sol. L'humidité considérable dans la plus grande partie de l'année, conjointement avec le ralentissement de l'accès de l'air dans les formations de tourbe proprement dites, produira un riche développement d'acides humiques et le fort dessèchement périodique amènera, conjointement avec un manque presque complet du sable plombifère ou bases minérales, qui pourraient neutraliser les acides humiques, la formation de poussière d'humus et de charbon d'humus, parce que plusieurs des matières humiques solubles à l'origine deviennent très difficilement solubles par la dessiccation. De longues périodes de gelée doivent avoir vraisemblablement une action en quelque sorte semblable.

Il n'est pas d'ailleurs tout à fait exact de conclure d'une différence entre l'humidité de la croûte terrestre dans la lande et le sable nu, à la différence entre la quantité d'eau dans le terreau de la forêt

de chênes et sous la tourbe de la lande ; seulement, premièrement il n'était pas possible de trouver un matériel suffisant pour se livrer à un examen du sol sous le bois de chênes à croissance rabougrie, et deuxièmement, cela ne me paraît pas nécessaire pour pouvoir appliquer les observations communiquées. On a, à vrai dire, le plein droit, d'après d'autres recherches [1], de tirer la conclusion que le sol superficiel qui porte la végétation est encore plus sec que le sol nu, étant admis qu'il n'est pas recouvert d'une couche homogène de restes de plantes mortes et une pareille couche n'existe jamais dans la période de végétation dans les forêts de chênes avec sol sec. Les nombreuses recherches faites sur l'humidité de la terre sous différentes couvertures végétales amènent nécessairement à la conclusion qu'il s'ensuit une plus grande différence encore entre l'humidité dans les sols de tourbe et dans les sols de boqueteaux de chênes, qu'entre la quantité d'eau dans celui-ci et dans le sol nu. Notre conclusion, que le développement de la formation de tourbe produit une élévation importante dans l'humidité de la croûte terrestre, n'est pas atteinte pour cela par le manque indiqué dans la série d'observations. Le fait que l'augmentation de l'humidité est la plus grande là où le terrain est plat et où, à part cela, un peu d'eau superficielle est amenée, où enfin il existe un écoulement défectueux ou un état élevé de l'eau souterraine, n'exige aucune démonstration et ici nous trouvons aussi un tel accroissement de la transformation en marais de la superficie qu'on ne peut tracer aucune limite entre la formation de tourbe de landes et la formation de tourbe marécageuse réelle (*Moortorfbildung*) ; les deux peuvent, comme nous l'avons vu dans les recherches de la forêt de Vindum, se présenter sous des formes tout à fait analogues et avec des transitions insaisissables.

D'après cela, nous pouvons tirer de ces observations la conclusion que la transformation du terreau en tourbe produit une fermeté et

1. Voyez, par exemple, Marié Davy, *Annuaire météorologique de l'obs. phys. centr.* Paris, 1874, p. 286. — Wollny, *Des Einfluss des Pflanzendecke und Beschattung auf die physikalischen Eigenschaften und die Fruchtbarkeit des Bodens* (*l'Influence de la couverture végétale et de l'ombragement sur les propriétés physiques et la fertilité du sol.* Berlin, 1877, p. 135).

une compacité plus grande dans la croûte terrestre et souvent, pendant une grande partie de l'année, augmente l'humidité de celle-ci à un haut degré. Ces transformations agissent de telle sorte que l'échange des déchets organiques doit se poursuivre partiellement sans accès de l'air, et pour cela, prendre le caractère de la formation de tourbe avec un développement plus riche d'acides humiques, comme cela a été reconnu assez bien d'autres côtés [1] et suffisamment démontré par des analyses faites antérieurement [2].

Limonage (*Ausschlämmung*) *de la croûte terrestre.* — Dans la première partie [3] de ce travail, il a été indiqué que la couche superficielle du sol perd peu à peu une partie de ses particules, ce qui doit être considéré comme parfaitement constaté par les déterminations de la quantité d'alumine à des profondeurs différentes, faites par Johnstrup, Girard, Orth et l'auteur lui-même. Aux facteurs avec lesquels on doit compter, quand on veut étudier les transformations dans le sol, s'ajoute également l'acte de limonage (*Abschwemmungsakt*).

Il ressort des recherches communiquées dans la littérature que ce procédé qui doit être attribué seulement à la force décomposante de l'eau, amoindrit la quantité d'alumine dans la croûte terrestre ; c'est en soi un moment important pour la compréhension de la nature des couches superficielles, et nous avons déjà plus haut, lorsque nous avons parlé des transformations du sol au point de vue de la densité et de la fermeté, indiqué un rapport dans lequel le transport de l'eau avait de l'importance pour l'état de la croûte du sol. Mais, pour les présentes études, l'influence du limonage sur la quantité de fer et le gisement des particules d'humus offre un intérêt particulier.

Le fer est, dans le sol argileux, si intimement lié à l'argile que ces deux corps doivent être atteints et entraînés de la même façon par le transport de l'eau. Sur 18 dosages de fer faits dans des sols forestiers argileux de six différents emplacements forestiers, à une pro-

---

1. Par exemple, Liebig, *Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiolgie* (*la Chimie appliquée à l'Agriculture et à la Physiologie*), t. II, p. 137 et suiv.

2. Comparez, partie I.

3. P. 146, 147 et 148.

fondeur différente, on a trouvé les teneurs moyennes indiquées dans le tableau suivant :

ÉLOIGNEMENT DE LA SUPERFICIE.		HYDRATE d'oxyde de fer.
Pouces.	Mètres.	
—	—	—
2,5	0,06538	1,1
5,0	0,13077	1,2
7,5	0,196155	1,5
10,0	0,26154	1,7
12,5	0,313848	1,8
15,0	0,39231	1,9

On voit par là que la quantité de fer croît de la superficie vers le bas uniformément, et, à la vérité, si vite qu'elle est à peu près moitié aussi grande dans la croûte du sol qu'à une profondeur d'environ un pied et demi (0^{m},3295), comme elle atteint ordinairement le quantum qui se trouve dans le sous-sol de nos pays argileux, d'environ 2 p. 100. Une comparaison de la teneur du sol en fer et en argile, comme l'indique le tableau IV, figure 1, démontrera que les transports de ces deux substances s'accompagnent l'un l'autre ; la quantité d'argile, aussi bien que la quantité de fer, est sur ce tableau exprimée en rapport avec le quantum moyen de chacune de ces substances qui existe dans le sous-sol de notre sol forestier argileux et les lignes pleines représentent, sur la figure 1, les transports de l'argile et du fer dans un tel sol avec une superficie en forme de terreau. On voit que le transport est aussi uniforme qu'on peut l'attendre surtout de déterminations de ce genre, tandis qu'une différence essentielle et constante se produit aussitôt que le sol est recouvert de tourbe (les lignes ponctuées).

Plus loin se montre, dans les sols sableux très maigres (tabl. IV, fig. 2), une déviation évidente dans la direction des lignes (a et a') qui indiquent le mouvement des deux substances en question sous la superficie recouverte de terreau. Doit-on, à la vérité, admettre qu'un peu de fer est aussi ici enlevé par limonage avec l'argile ? La quantité de cette dernière substance est pourtant trop restreinte pour qu'aucune partie importante d'oxyde de fer puisse être liée à l'argile, mais doit être renfermée dans le sol indépendamment comme enveloppe des grains de sable. On pourrait penser qu'aussi cette

partie du fer du sol fût atteinte par les mouvements d'eau ; mais je suis convaincu que ce n'est pas le cas. Aussi bien une observation attentive des conditions de structure du sable ferrugineux que le fait, qu'aussi loin que portent mes connaissances, jamais des amoncellements ne se sont trouvés dans le sol qui puissent exprimer un limonage de cette substance, aussi bien que cela existe pour l'argile, parlent expressément contre l'hypothèse que l'eau de pluie, en s'infiltrant dans la terre, puisse embourber par limonage le fer, s'il n'est pas lié à l'alumine.

Nous pouvons résumer ces observations de la façon suivante : dans les sols naturels recouverts de terreau renfermant un peu d'alumine, la quantité de cette substance, aussi bien que celle du fer, décroît uniformément et dans la même proportion du sous-sol jusqu'en haut, si bien que la croûte terrestre n'en contient pas moitié autant que le sous-sol à une profondeur de deux pieds ($0^m,6277$) et cet état doit être attribué à l'action limonante de l'eau.

Dans les sols très pauvres en argile, avec une superficie en forme de terreau, aussi bien que dans le terrain recouvert de tourbe, existe, au contraire, une différence importante dans le transport des substances en question ; c'est pourquoi nous devons admettre que d'autres causes, sur lesquelles nous reviendrons plus bas, ont opéré une limitation de la quantité de fer dans la superficie.

Le transport de l'eau doit aussi avoir une importance pour le gisement des matières humiques dans la croûte terrestre. Dans les forêts de chênes sur sol de terreau, les corps humiques sont, d'une façon perceptible à l'œil, déposés dans la superficie et leur quantité décroît uniformément avec la profondeur jusqu'à ce que toute trace visible de restes organiques disparaisse, ainsi que l'explique la figure 1 du tableau III. On peut attribuer ce gisement de particules d'humus et de combinaisons humiques seulement à deux causes : elles doivent être conduites dans la profondeur du sol en partie par l'eau, en partie par les animaux, principalement les vers de terre. La quantité d'humus dans cette partie du sol ne dépasse pas, en général, 3 p. 100 (tabl. VI, fig. 2), phénomène dont la cause doit être cherchée simplement dans l'oxydation progressive des restes organiques, qui doit s'accomplir brusquement surtout dans ces sols sableux meubles, et,

sans doute, cela doit être attribué à ce que les parties d'humus disparaissent sur certains emplacements avec une telle rapidité, que la couche supérieure du sous-sol peut, comme nous l'avons vu, prendre le caractère du sable plombifère (tabl. III, fig. 5). Les analyses montrent que la quantité d'humus peut, à de telles places, descendre jusqu'à peu près un demi p. 100 (tableau VI, fig. 2). La combustion de la partie organique du sol se fait vraisemblablement plus vite dans certaines années que dans d'autres ; mais le résultat principal reste, sur chaque emplacement, un mélange assez constant.

On aperçoit un changement dans le partage des matières humiques aussitôt que les vers de terre disparaissent et que la croûte du sol forme une masse compacte, surtout quand les recherches portent sur un terrain placé plus bas, où l'humidité du sol est plus grande que sur les hauteurs. La couleur du terreau de la couche supérieure du sous-sol ne diminue pas régulièrement ici d'ordinaire avec la profondeur; mais, les particules d'humus colorent au commencement toute la couche d'une façon presque homogène ; sur des formations poursuivies plus loin commence un faible amoncellement de particules noires d'humus sur le sol de la couche supérieure du sous-sol et immédiatement sur la couche dans laquelle a commencé la formation de terre rouge (fig. 3 du tabl. III). Si l'on examine les formes de passage entre les profils représentés par les figures 2 et 3, et qu'on prend en considération la force de transport de l'eau, c'est à peine si l'on peut mettre en doute que 3 est sorti de 2, que la destruction des matières humiques a été produite par l'affaiblissement de l'accès de l'air et que l'eau a entraîné avec elle une partie des particules humiques de la couche supérieure du sous-sol et les a déposées entre les grains de sable, immédiatement sur la couche la plus compacte, la couche de terre rouge à son début. On doit cependant aussi se rappeler à ce propos quelle influence les alternatives de froid et de rosée en hiver ont sur ce limonage. Avec le changement des saisons, les petites particules, même dans la couche la plus compacte du sol, sont séparées les unes des autres en vertu de la cristallisation de l'eau et de la capacité calorifique inégale des différents éléments. Le froid ameublit la couche supérieure et

favorise, par cela même, l'entraînement dans les parties basses par limonage (*Hinabschwemmung*) des particules d'humus à travers le sable grossier, en même temps qu'il participe à la formation du gisement des différents éléments d'inégale capacité calorifique. Aux mêmes forces, qui produisent le phénomène connu de la congélation des pierres au dehors du sol, peut être aussi attribuée une répartition des éléments à la superficie du sol des landes[1]. D'ailleurs, les recherches concernant l'infiltration (*Durchsickerungsversuche*) citées plus bas ont démontré directement que les petites particules de sable plombifère sont plus facilement entraînées par limonage à travers une couche de cette terre que les particules du sous-sol à travers un échantillon de terre provenant d'une couche correspondante.

Quand on est arrivé à comprendre clairement les communications faites précédemment (figure 3 du tableau III) on reconnaîtra, en suivant les passages entre les profils représentés par les figures 3 et 4, que les puissantes couches d'*Ortstein,* qui se trouvent principalement dans les landes humides, consistent dans leur partie supérieure en particules d'humus entraînées en bas par limonage, qui souvent sont déposées ici en telle quantité que la masse est presque tourbeuse; mais les nombreux grains de sable que l'on voit dans cette partie de l'*Ortstein* sont tous blancs et nus, tandis que ceux qui se trouvent dans les couches plus profondes de l'*Ortstein* sont entièrement incrustés dans une enveloppe de combinaisons d'acides humiques, ce qui est une preuve du mode de formation différent de ces couches. Mais, si les particules d'humus déposées dans le sol de la couche supérieure du sous-sol ont été trouvées en plus grande quantité, il est au plus haut point vraisemblable que leur masse s'est accrue par le supplément des acides humiques et de leurs composés dissous dans l'eau du sol, ce que démontrent les analyses faites plus tard (tableau VI). La masse tourbeuse, mélangée au sable a, à vrai dire, un pouvoir important d'absorber

1. Comparez, par exemple, Detmer, *Die naturw. Grundlagen der Allg. Landwirthsch. Bodenkunde* (*les Principes de la science générale agricole des sols*). Leipzig, 1876, p. 273.

par aspiration l'eau et, pour cela, retiendra longtemps l'eau brune qui s'infiltre dans les couches inférieures, d'où l'acide humique insoluble peut se séparer dans la couche même par un froid vif ou une sécheresse continue. Nous voulons lui conserver la dénomination, que lui a donnée un vieil auteur danois, de *Ortstein noir* (voir plus loin), par opposition à l'*Ortstein* brun qui forme les parties plus profondes de la couche. Sur des emplacements secs, la quantité des particules d'humus, entraînées en bas par limonage, est beaucoup plus restreinte ou a presque disparu (tableau III, fig. 6 et 7) et l'*Ortstein* noir fait presque complètement défaut sur des étendues considérables de landes; sur de telles places, l'*Ortstein* apparaît vers le haut avec une délimitation beaucoup plus tranchée que sur le sol frais ou humide.

Lavage de la croûte du sol (*Auswaschung*). — Le plus important des facteurs avec lesquels on doit compter dans l'examen des altérations du sol est le lavage (*Auswaschung*), dont on doit envisager l'existence comme aussi réelle que celle du limonage (*Ausschwemmung*), quoique son importance pour les sols est souvent négligée.

Depuis que Liebig a fait valoir la propriété, à la vérité indiquée antérieurement, mais à laquelle on n'avait attaché que peu d'attention, qu'on appelle le pouvoir d'absorption, on a, dans la science générale des sols, négligé cette force au point de vue de la chimie agricole, quand on a fait ressortir l'importance de l'influence lessivante de l'eau, qui joue un grand rôle sous le rapport géognostique. C'est bien grâce au pouvoir absorbant que les corps importants pour l'agriculture, principalement l'ammoniaque, la potasse et l'acide phosphorique, sont retenus dans le sol, mais la teneur de l'eau de drainage en chaux et en acide nitrique et les dépôts des sources riches en chaux et en ocre ferrugineuse témoignent suffisamment du pouvoir qu'a l'eau de laver le sol, et le phénomène doit être en même temps envisagé comme un résultat du procédé d'humification dans les éléments organiques de la croûte du sol[1]. En ce qui concerne la chaux et l'acide nitrique, il a été très fréquemment démontré

1. Ici, cela va sans dire, on ne tient pas compte de ces corps dans nos eaux, qui proviennent d'un entraînement de la surface.

qu'ils ne sont combinés que dans une faible limite par l'absorption, mais l'état du fer a été peu observé sous ce rapport ; d'abord, parce qu'il semble n'être pas enlevé par l'eau de notre sol arable, car l'eau de drainage ne contient pour ainsi dire pas de fer[1] et, enfin, parce que ce corps est considéré comme n'ayant pas une grande importance au point de vue de la chimie agricole, parce que le sol travaillé en renferme toujours des quantités considérables. On sent, sur ce domaine, que les études sur le pouvoir absorbant ont été entreprises par le savant qui s'occupe de la théorie de l'agriculture et non de la géognosie même.

Nos nombreuses sources ferrugineuses qui, si je ne me trompe, se rencontrent beaucoup plus souvent que les sources calcaires, témoignent suffisamment de la grande étendue de ce transport du fer de la superficie, et il semble que l'eau de source ferrugineuse et les eaux qui déposent l'ocre le long de leurs bords existent de préférence dans la région sableuse sur laquelle des forêts, des landes recouvertes de tourbe ou des marais ont déposé des quantités importantes de substance organique dans la croûte du sol ; dans les régions des landes, presque toutes les plus petites rigoles (*Rinnsale*) déposent sur les pierres et sur les brins d'herbes une couverture d'ocre le long des bords. Nous voulons commencer nos observations sur la signification du lavage pour tous les sols dont on vient de parler, qui sont, sans exception, extraordinairement pauvres en chaux, par une étude de l'état du fer.

Si nous nous tournons tout d'abord vers le sol forestier argileux, mais recouvert de tourbe, une étude répétée du tableau IV, fig. 1, montrera que l'argile et l'oxyde de fer ne suivent plus ici le même chemin qu'aux places du même sol recouvertes de terreau. Les analyses de quatre sols forestiers recouverts de tourbe montrent une

1. D'après des analyses faites par Zöller des substances inorganiques contenues dans l'eau de pluie ayant traversé une plus petite couche de terre recueillie dans le lysimètre (voyez Knop, *Kreislauf des Stoffs* [*cycle de la matière*], Leipzig, 1868, t. XI, p. 194-199), la moyenne de la teneur en fer dans cette série considérable de recherches s'élève à environ 1/27 de la teneur en chaux. Les recherches grandioses exécutées à Rothamsted sur les eaux de drainage ont donné un résultat semblable (voyez, par exemple, Heiden, *Düngerlehre* [*Leçons sur les engrais*], Hannover, 1879, p. 375), de même que beaucoup d'autres.

diminution beaucoup plus forte du fer que de l'argile vers la superficie. Tandis qu'ici, à une distance de 15 à 29 pouces (0^m,4023 à 0^m,7984) de la superficie, on trouvait une quantité de 60 à 70 p. 100 d'argile et de fer, existant à une profondeur d'environ 4 pieds (1^m,255), à deux pouces (0^m,0523) sous la superficie cette proportion s'affaisse jusqu'au-dessous de 10 p. 100 ; tandis qu'au contraire le taux d'argile atteignait encore 40 p. 100 ou à peu près autant sur le même sol là où celui-ci était recouvert de terreau meuble. Comme un enlèvement indépendant du fer par lavage de l'argile doit être considéré ici comme impossible, un autre facteur doit avoir dépouillé le sol du premier de ces corps ; et on ne peut guère interpréter la façon dont cela a pu arriver qu'en admettant une réduction de l'oxyde de fer et son entraînement au loin à l'état de sel d'oxydule de fer soluble. La couleur gris blanche, caractéristique de la couche du sol (sable plombifère) qui se trouve immédiatement sous la couverture humique du sol recouvert de tourbe, dénote directement cette diminution de la quantité de fer.

Le sol sableux, extraordinairement pauvre en argile des régions de landes, montre, comme cela a été mentionné plus haut (tableau IV, fig. 2), une forte diminution semblable de la richesse de la croûte terrestre en hydrate d'oxyde de fer et, à la vérité, aussi bien sous le terreau que sous la tourbe; mais, en général, cette diminution est pourtant beaucoup plus grande sous la tourbe ferme que sur la couverture de feuilles meuble; c'est seulement par places qu'elle a la même importance dans ces deux conditions. Sur le sol de terreau, le fer a disparu du sol mélangé à l'humus à un degré relativement plus grand que l'argile et, sur les sols de landes recouverts de tourbe, la couche de sable plombifère, qui correspond au sol des parties de terreau, a été décolorée par la disparition du fer. Le mode de gisement de cette matière dans son entier est tel qu'il ne peut s'expliquer, ni par un procédé de dissolution, ni par un limonage.

Comment maintenant peut-on comprendre que la dissolution du fer dans la croûte terrestre est liée, en réalité, en partie à une forme déterminée d'humus, en partie, là où cette dernière n'existe pas, limitée aux sols sableux les plus maigres, pauvres en argile et en

chaux? Que, pour l'éclaircissement de cette question, soient indiqués deux moments, qui, tous deux, se tiennent dans le rapport le plus étroit avec les conditions d'humidité du sol et dont la signification pour le lavage s'élève au même degré, lorsque la croûte terrestre, grâce à sa formation ou sa composition, est aussi pauvre en fer, chaux et autres bases, ou a été dépouillée de celles-ci par l'influence de l'eau?

Quand, par suite de la disparition des formes animales, qui travaillaient le sol, l'homogénéité du sol a changé et que celui-ci est devenu ferme et compact et recouvert d'une couche de tourbe traversée par l'eau pendant la plus grande partie de l'année, ce qui fait que l'air atmosphérique est retenu par le sol mélangé avec des matières humiques, alors le fer doit être lessivé par l'eau renfermant de l'acide carbonique. Le principe suivant, fondé sur l'expérience, n'a jamais été, que je sache, combattu par personne : l'hydrate d'oxyde de fer, dans de telles conditions, sous l'influence des matières humiques en fermentation avides d'oxygène, est réduit à l'état d'oxydule de fer, puis transformé en carbonate ou bicarbonate d'oxydule de fer facilement soluble[1]; il est entraîné par l'eau qui renferme de l'acide carbonique dans les couches de terre plus profondes ou dans les sources et rigoles, où il se dépose à nouveau par suite de l'oxydation du fer et de la disparition d'acide carbonique, sous forme d'ocre rouge.

Il est clair que ce procédé doit conduire à la formation de la couche blanc-gris, pauvre en fer, d'autant plus vite que la quantité de fer est en elle-même plus petite, et c'est pourquoi nous voyons la formation de sable plombifère commencer par en haut dans le sol argileux ou de lehm, où le fer n'existe déjà qu'en quantité très restreinte à cause du dégorgement (*Ausschlämmung*). L'entraînement par limonage de l'argile ferrugineuse de la croûte du sol par l'eau a déjà préparé, de cette façon, la voie à la formation de sable plombifère dans le sol de terreau; celle-ci ne peut d'ailleurs arriver à sa plénitude que si l'air atmosphérique est isolé à travers la couche de schiste ou d'une autre façon.

---

1. Senft, *Steinschutt und Erdboden* (*Graviers et sols*). Berlin, 1867, p. 274.

Sur les sols sableux maigres des landes avec une superficie de terreau, comme par exemple dans les boqueteaux de chênes sur sable-terreau (*Sandmull*) meuble, il y a encore un facteur nécessaire pour l'*accélération* du lavage, je veux dire les vers de terre ; car, il n'est pas admissible qu'un mélange simple du sable ferrugineux avec des détritus organiques puisse suffire à restreindre le fer dans un mélange aussi meuble et, en général, facilement accessible à l'air comme les sols sableux de terreau (*Mull-Sandboden*), et le transporter avec l'assistance de l'eau. Darwin a démontré clairement que le sable ferrugineux, quand il passe à travers le canal intestinal des vers de terre, est dépourvu de l'enveloppe ocreuse qui entoure les grains de sable, si bien que les excréments renferment des grains de sable blancs, mélangés avec une terre fine consistant en un mélange intime d'oxyde de fer avec de la matière organique[1]. Dans une terre fine de cette formation, l'oxyde de fer sera, à un degré particulièrement élevé, exposé à la réduction, aussitôt, quoique dans de plus courtes périodes, que des obstacles s'opposent à l'accès de l'air, comme par exemple lorsqu'au printemps le froid produit des transports d'eau et maintient la croûte terrestre mouillée pendant un certain temps. J'ai la ferme conviction que la forte diminution de la quantité de fer, dans la partie supérieure du sol travaillée par les vers de terre, dans les touffes de chênes (tableau IV, fig. 2 *a*), qui peut amener par places une disparition presque complète du fer (tableau III, fig. 5) et qui facilite tant la transformation de cette couche en sable plombifère, se laisse expliquer naturellement de cette façon là où l'état, dont on a parlé, est vraisemblablement le résultat de l'activité de ces animaux poursuivie pendant un siècle. Le fait, que des causes analogues n'ont pas eu la même action, doit être sans aucun doute attribué à ce que la couche de terreau est ici riche en éléments absorbants autres que le fer et que ceux-ci, pendant la courte période où la suppression de l'accès de l'air peut se produire partiellement, empêcheront un entraînement de cette substance par l'eau chargée d'acide carbonique.

La seconde cause principale de l'enlèvement par lavage du fer de

1. Darwin, *Vegetable Mould* (*Terreau végétal*), p. 240-241.

la superficie du sol recouvert de tourbe est la formation d'importantes quantités d'acides humiques solubles dans la tourbe et l'entraînement de celles-ci dans les profondeurs du sol par l'eau de pluie. Leur formation sera favorisée à un haut degré non pas seulement par la suppression de l'accès de l'air, mais aussi par le degré d'humidité plus grand qui, comme on sait, caractérise la tourbe de lande par comparaison avec le sol en forme de terreau ou nu pendant une grande partie de l'année.

Les couches de tourbe formées sur pays sec apparaissent vraisemblablement avec une grande série de formes différentes, qui, toutes, sont encore, pour ainsi dire, inconnues et qui, en raison de la différence dans la nature des produits d'humification, ne peuvent en aucune façon exercer une influence semblable sur les couches de terre sous-jacentes, mais qui toutes, évidemment, occasionnent un développement beaucoup plus fort d'acides humiques que les processus d'humification des sols de terreau meuble bien ventilés.

La croûte de tourbe de la lande même a un caractère tout différent dans les formations anciennes et récentes de landes, comme l'a déjà démontré Emeis [1]; chez celles-là, la tourbe a souvent une couleur presque bleu-noire ou une couleur d'encre qui, peut-être, est due à du tannate d'oxyde de fer [2] et la couche a une structure plus compacte et plus fine vers le bas que la tourbe des formations récentes de landes, qui est brunâtre et dans laquelle les restes de plantes ont mieux conservé leur structure primitive.

Emmerling et Loges [3] ont entrepris, à l'instigation d'Emeis, un examen de la tourbe de lande, provenant de sol de lande sec et mouillé, et ils ont trouvé que ce dernier renfermait une bien plus grande quantité de matière humique soluble dans l'eau pure que les premiers. Des déterminations du même genre ont été faites par Tuxen sur des échantillons de tourbe provenant de lande moyennement humide, près Birkebäk, et d'une forêt de chênes dans le domaine de Strand (*Strandgehege*), près Hellebäk, et le résultat concorde,

1. *Waldbauliche Forschungen und Betrachtungen* (*Recherches et observations forestières*), Berlin, 1875, p. 35.

2. Tuxen, *Om Lyngskjoldens Udluftning* (*Tidskr. f. Skovbr.*, t. II, p. 195).

3. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 1883, p. 73.

pour la partie essentielle, avec celui auquel sont arrivés les chimistes nommés plus haut. Sur 100,000 parties de substance humique, les quantités suivantes furent dissoutes dans l'eau pure entre 14 et 18°.

	D'APRÈS Emmerling et Loges.	D'APRÈS Tuxen.
	—	—
Lande sèche	66	143
Lande humide	197	
Forêt de chênes	678	452

De même qu'ici il est démontré directement qu'il existe une grande différence dans la quantité de matière humique que l'eau de pluie peut entraîner avec elle à l'état de dissolution des différentes sortes de tourbe, de même le caractère général de la tourbe et la coloration des couches sous-jacentes indiquent de plus grandes différences. Ainsi, il a été mentionné plus haut que la tourbe d'épicéas produit difficilement de grandes masses d'acides humiques solubles, vraisemblablement encore moins que la tourbe de lande ; il faut aussi rappeler ici la teneur de la tourbe d'épicéa en matières céracées ou résineuses, démontrée par les recherches de Senft[1], Tuxen[2] et d'autres et qui ne se trouvent vraisemblablement pas dans la tourbe de chênes.

Bien que, par conséquent, nous ne connaissions du caractère chimique des différentes formes de tourbe et de la solubilité de leurs matières humiques rien de plus que d'importantes différences existant sous ce rapport et, à la vérité, aussi bien d'après les déchets végétaux qui forment la masse de tourbe que d'après les places où celle-ci est déposée, nous sommes donc certainement autorisés à admettre que ces formes de tourbe, en tant qu'elles donnent une réaction acide à cause de l'acide humique qu'elles renferment et que le sable plombifère, dont le gisement se trouve sous la tourbe, a de même une réaction acide, doivent contenir de l'acide humique soluble, libre, que l'eau de pluie peut entraîner dans les profondeurs du sol.

A peine peut-il exister un doute sur le fait que cette eau, qui ren-

1. Voyez, par exemple, *Steinschutt, etc.*, p. 326.
2. *Tidskr. f. Skovbr.*, t. II, p. 196.

ferme de l'acide humique, contribue au lavage du sol aussi bien que l'eau chargée d'acide carbonique, en partie indirectement par la transformation par oxydation des humates en carbonates solubles, en partie indirectement par le pouvoir dissolvant de la liqueur acide même : intuition entièrement partagée par Forchhammer [1] et d'autres. Une recherche faite, en vue de suivre ce procédé en particulier, ne serait cependant pas à conseiller quand on se représente toute la connaissance que nous avons surtout des matières humiques et de leurs combinaisons, les opinions contradictoires émises sur ce groupe de substances difficile et le grand nombre d'autres auteurs qui s'en sont occupés comme Mulder, Senft, Detmer, König, Grandeau et d'autres. Pour nous, s'ajoute encore une autre difficulté à celles-ci, à savoir que les différents auteurs ont eu presque exclusivement devant les yeux l'existence des corps en question dans un champ arable à réaction alcaline ou neutre, tandis que, si je ne me trompe, des recherches sur la façon dont se comporte l'humate sur un sol aussi acide que ceux dont on parle ici font complètement défaut [2].

Le rôle que les acides humiques ou peut-être l'humate d'ammoniaque [3] doivent jouer dans le lavage du sol sous une couche de tourbe se montre principalement relativement à l'hydrate d'alumine, car ce corps ne forme, comme on sait, aucun sel avec l'acide carbonique ; et c'est à cause de cela qu'il ne peut pas exercer, au point de vue de l'enlèvement par lavage du sol de cette matière, la même influence que le fer et les terres alcalines.

Il ressort évidemment du tableau V, figure 1, que l'alumine accompagne, pour la partie essentielle, les transports d'oxyde de fer dans le sable plombifère et la terre rouge ; dans la première de ces couches, sa quantité est aussi fortement réduite que celle du fer et se trouve parfois amoncelée aussi fortement que le fer dans la couche

---

1. Forchhammer, *Om Marsk, Dynd og Törv* (*Johnstrup, Forchh. Almenfattelige Afb., etc.* Kbhn. 1869, p. 416 et suiv.).

2. Darwin cite en plusieurs places dans *Vegetable Mould* un travail de A. A. Julien qui semble donner des conclusions plus détaillées sur le pouvoir dissolvant de l'acide humique. Malheureusement je n'ai pu examiner ce mémoire, car le volume de *Proc. American Assoc. of Science,* dans lequel il se trouve, manque fortuitement dans toutes les bibliothèques publiques, aussi bien ici qu'en Suède, où je m'en suis enquis.

3. Voyez Senft en plusieurs endroits, par exemple *Steinschutt* (*gravois*), *etc.*, p. 311.

sous-jacente d'Ortstein. Cette observation semble signifier que l'hydrate d'alumine peut aussi former des combinaisons également solubles dans l'eau chargée d'acide humique, ainsi que cela a été démontré par Mulder[1] et Senft[2], non pas seulement en particulier pour l'oxydule de fer[3], mais aussi pour l'oxyde de fer, quoique ces communications concordent sans difficulté avec les remarques d'autres, par exemple celles de König[4]. On doit cependant prendre en considération la grande différence qui existe entre le matériel de recherches des laboratoires et la complexité extrêmement variée de ce faisceau de combinaisons, particulièrement les sels polybasiques que forment l'ammoniaque et d'autres alcalis, dans lesquels les corps en question peuvent exister dans le sol. Il ne me paraît pas tout à fait déraisonnable dans ces circonstances, sans tenir compte des différentes opinions qui se trouvent exprimées dans la littérature sur la solubilité de l'humate en question, d'appuyer une conception du pouvoir qu'a l'eau chargée d'acide humique de dissoudre le sesquioxyde, sur des observations semblables à celles faites sur les formations puissantes de sable plombifère mentionnées plus haut, et qui existent sous les marais avec sols sableux et analogues. Avec l'opinion qu'on vient d'exposer, s'accorde très bien l'observation qu'aucun lavage apparent n'existe là où la couche du sol, sur laquelle repose la tourbe, est remarquablement riche en bases inorganiques plus fortes, qui, comme la chaux et les produits de décomposition du granit, peuvent en partie former les acides humiques, en partie accélérer leur transformation en acide carbonique par oxydation.

Mon opinion est donc que, à côté du rôle que l'eau chargée d'a-

---

1. Mulder, *Chemie der Ackerkrume* (*Chimie de la terre arable*), Berlin, 1861, t. I, p. 353 et suiv.

2. Senft, *Humus — Marsch — Torf — u. s. w.* (*Humus, Marais, Tourbe, etc.*), p. 29, *und Steinschutt und Erdboden* (*Gravois et terre*), p. 41-44, 56, 249, etc.

3. Le professeur Tuxen a démontré que l'humate d'oxydule de fer est soluble dans l'eau chargée d'acide carbonique.

4. A. König, *Ueber das Absorptionsvermögen humoser Medien* (*Sur le pouvoir d'absorption des milieux humiques*) [*Landw. Jahrb.*, t. XI, 1882], pense que l'absorption des sels neutres par le sol consiste en une formation de sels doubles insolubles avec la chaux, la magnésie, l'oxyde de fer et l'alumine. La question de savoir comment s'établit le rapport en présence d'acides humiques libres qui, comme on l'admet généralement, augmentent le pouvoir absorbant, n'a pas été cependant mentionnée.

cide carbonique doit incontestablement jouer, lorsqu'une couche de tourbe compacte, souvent imprégnée par l'eau et qui arrête l'air, s'est formée, de même les acides humiques, s'infiltrant avec l'eau de pluie, peuvent contribuer à un degré très essentiel à la formation du sable plombifère, quoiqu'une connaissance insuffisante de la solubilité des humates rende la dernière supposition moins incontestable que la première. Le procédé tout entier est certainement analogue à la condition connue : que, dans le sol, surtout dans les couches plus profondes, il peut aussi bien se former autour des racines en putréfaction des parties décolorées analogues au sable, dont l'humification a réduit l'ocre ferrugineuse, après quoi le sel d'oxydule formé est emporté par l'eau.

Une observation plus détaillée du pouvoir absorbant nous donnera pourtant une conception plus approfondie de la formation de sable plombifère.

Absorption. — Quand la couche du sol qui gît immédiatement au-dessous de la couverture de déchets humiques a été si fortement décolorée par le limonage de la terre fine, le lavage des combinaisons de fer qui donnent la coloration à la couche et la transformation par oxydation d'une grande partie des matières humiques en acide carbonique ; qu'elle a pris une couleur blanchâtre, gris-blanchâtre ou gris-bleu, et que la forme d'humus est de la tourbe nettement définie, alors cette couche est toujours limitée par de l'*Ortstein* ou de la terre rouge. Apparemment, une différenciation (*Differenzirung*) a eu lieu précédemment dans les éléments de la croûte terrestre ; puis, les matières fortement colorantes se sont déposées à la partie la plus basse.

Dans la première partie de ces recherches, on a représenté sous forme d'hypothèse que ce mode de gisement doit son origine aux particularités du pouvoir absorbant des couches et les études poursuivies ont été dirigées dans le but de vérifier la justesse de cette hypothèse.

Nous tournons tout d'abord notre attention vers le rapport du sable plombifère à cette propriété du sol que Liebig a qualifiée de : « une des merveilleuses lois naturelles », et en vertu de laquelle des éléments minéraux et des matières colorantes dissous, amenés par l'eau dans

les profondeurs de la terre, ont été arrêtés par celle-ci si bien que, par exemple, des eaux de purin brunes et infectes, quand elles traversent une couche de terre de puissance convenable, en sortent, après filtration, pures et inodores, et nous commençons nos observations d'une façon tout élémentaire en recherchant comment se comporte le sable plombifère vis-à-vis du liquide brunâtre obtenu par extraction au moyen d'eau distillée froide de la croûte tourbeuse.

Le sable de lande jaune ordinaire décolore entièrement cette solution d'humus. 200 grammes de sable jaune de la plantation de Holt (*Holter-Pflanzung*) furent placés dans un tube de verre long de 4 à 5 centimètres, en forme d'entonnoir, et imbibés journellement pendant dix jours avec 1,050 centimètres cubes d'un liquide couleur brun-sépia, obtenu en traitant 115 pouces cubiques de tourbe avec 230 pouces cubiques d'eau distillée ; 200 autres grammes du même sable avaient été traités en même temps avec la même quantité d'eau distillée. Le liquide, qui s'écoulait à travers les deux filtres, était de même parfaitement clair, ne laissait par évaporation aucune matière combustible et un résidu minéral si faible qu'on ne pouvait le déterminer. Les autres recherches furent conduites de la même façon et portèrent sur les mêmes quantités.

Un échantillon de sable plombifère, provenant aussi de la lande près Holt dans le Jütland, mais prélevé à une autre place, fut traité de la façon qu'on vient de décrire ; l'eau brune passa à travers sans changement de couleur. 100 centimètres cubes contenaient :

	EXTRAIT de la croûte de lande.	EAU DISTILLÉE filtrée à travers le sable plombifère.	EXTRAIT de la croûte de la lande filtrée à travers le sable plombifère.
	Grammes.	Grammes.	Grammes.
Matière solide. . . .	0,008	0,009	0,011
Dont :			
Matière organique . .	0,004	0,004	0,006
Cendres	0,004	0,005	0,005

La recherche fut répétée avec des échantillons de terre provenant d'une vieille forêt de chênes (domaine de Teglstrup), avec une couverture de tourbe pauvre en végétation de 4 pouces ($0^{m},1046$) d'épaisseur, sous laquelle gisait une couche argileuse, grisâtre, ayant par places une coloration plus foncée due à la présence d'a-

cides humiques et une épaisseur de 3 pouces ($0^m,07846$) ; enfin, suivait une terre rouge irrégulière, poreuse, épaisse de 4 à 5 pouces ($0^m,1046$ à $0^m,1307$) sur un sous-sol argileux ; l'eau brune s'infiltrait à travers le sable plombifère sans être décolorée, mais était parfaitement claire, après son passage à travers la terre du sous-sol [1].

Aussi bien l'eau chargée d'acide humique infiltrée que l'eau distillée laissa, d'ailleurs, par évaporation, un résidu relativement considérable, qui, pourtant, était beaucoup plus grand pour le sable plombifère que pour le sous-sol. Comme il est intéressant de voir à combien peut s'élever la quantité de terre fine que renferme le sable plombifère, sans qu'il puisse décolorer l'eau chargée d'humus, nous donnons ci-après les résultats de l'analyse mécanique :

	SABLE plombifère.	SOUS-SOL.
	P. 100.	P. 100.
Sable au-dessus de 1 millim.	9	6
Sable de 1/3 à 1 millim.	26	22
Sable au-dessous de 1/3 millim.	48.4	51.6
Argile.	16.6	20.4

Des recherches semblables sur l'infiltration furent faites sur deux échantillons de terre prélevés par le candidat forestier Hintz sur un troisième emplacement assez différent des précédents, sur un versant dans Silkeborg Nordskov, exposé au vent d'ouest, peuplé d'une très bonne forêt de chênes âgés de 70 à 80 ans. Ici se trouvait de la tourbe de chênes de 2 pouces et demi ($0^m,0536$) avec de la mousse et une végétation misérable d'*aira flexuosa ;* à 10-12 pouces ($0^m,2615$ à $0^m,3138$) du sable plombifère grisâtre à gros grains et avec une très petite quantité d'argile, une faible formation de terre rouge et un sous-sol jaune d'ocre, mais non tout à fait dépourvu d'argile. La même quantité de terre que dans les précédentes recherches fut lavée pendant plusieurs jours avec de grandes quantités d'eau distillée, jusqu'au moment où la liqueur s'écoulait incolore des deux échantillons de terre; ce procédé enlevait par limonage une quantité assez considérable de fine terre argileuse des deux échantillons. Puis, on les arrosait d'un extrait de tourbe de chênes

1. Les deux échantillons de terre ont été soumis avant l'expérience à un lavage de peu de durée avec l'eau distillée.

couleur de madère, et cette eau, après filtration sur l'échantillon du sous-sol, s'écoulait décolorée, mais avec une coloration affaiblie après son passage à travers l'échantillon de sable plombifère.

Les masses d'eau employées pour les recherches précédentes sont trop grandes par rapport à la quantité de terre soumise à l'expérience pour qu'on ose attribuer une signification particulière à la masse du résidu d'évaporation de la liqueur filtrée et, à la vérité, d'autant moins qu'une quantité considérable de particules enlevées par limonage rend tout à fait sans valeur les données numériques pour plusieurs des échantillons. Mais le principal résultat de ces recherches est la démonstration absolue que des couches de sable plombifère de sols très différents, en partie avec des quantités d'argile vraiment grandes, en partie avec des quantités d'argile extraordinairement petites, ne peuvent décolorer la dissolution brune extraite de la tourbe, tandis que le sol, dans des couches plus profondes, le fond sous l'*Ortstein,* même là où ce dernier (comme dans l'échantillon du domaine de Teglstrup) ne gît seulement qu'à 8 pouces ($0^m,2092$) au-dessous de la superficie et que la distance entre les points sur lesquels les échantillons destinés à la recherche ont été prélevés s'élève seulement à environ 6 pouces ($0^m,1569$), décolore pourtant l'eau encore aussi parfaitement que du bon sol de terreau ordinaire[1].

---

1. Tous les échantillons de terre ont été prélevés par moi-même avec le plus grand soin, à l'exception de quelques-uns qui m'ont été livrés par quelques forestiers obligeants d'après une instruction détaillée ; cela fut seulement le cas pour quelques points dont j'avais moi-même étudié soigneusement le sol et pour lesquels j'étais en état de donner les indications les plus précises.

On entreprit en tout 120 recherches d'absorption sur 40 échantillons de terre de 12 emplacements différents ; pour tous les échantillons de terre traités, on entreprit en même temps une analyse mécanique et une analyse en partie chimique. Une des séries de recherches a pourtant dû être abandonnée, parce que les indications de la profondeur à laquelle avaient été prélevés les échantillons de terre avaient été perdues en route. La nature des profils examinés et tous les nombres trouvés dans les déterminations quantitatives sont donnés dans l'appendice annexé à cet ouvrage et dû au professeur Tuxen.

Par un examen critique de ce matériel considérable installé grâce au travail poursuivi pendant plusieurs années par le professeur Tuxen, on découvrira sans difficulté des différences et des anomalies locales dans l'absorption chez des couches de terre en apparence semblables : particulièrement l'absorption de la potasse montre sur certains emplacements des anomalies frappantes. Celui qui a une connaissance suffi-

Ces recherches ont établi que la formation de sable plombifère amène un changement dans le pouvoir absorbant du sol. Mais, pour apprendre à mieux connaître cette importante condition, on a entrepris une grande quantité de recherches sur l'absorption, d'après la méthode de Knop sur des sols différents. Elles sont représentées graphiquement sur les tableaux V, VI et VII.

Les figures 3 et 4 (tableau V) montrent le pouvoir absorbant de trois formations de sable plombifère parfaitement typiques et d'une formation de sable plombifère qui n'est pas tout à fait normale de quatre emplacements différents sur le pays de landes et dans les forêts de chênes dans les différentes parties du pays et sur un sous-sol très différent. Il ressort de cette représentation que l'absorption de l'acide phosphorique est parfaitement conservée sur les trois emplacements typiques et, sur le quatrième, limitée quelque peu, mais que l'absorption de l'ammoniaque est également très limitée dans les formations de sable plombifère typique. Quoique les autres conditions représentées sur le tableau VI s'écartent, en apparence, un peu de celles mentionnées plus haut, elles s'accordent pourtant toutes très bien ensemble[1], comme nous le verrons plus tard, en y regardant de plus près, et nous sommes autorisés dès à présent à poser les principes suivants sur le pouvoir absorbant du sable plombifère typique : la couche ne peut pas ou, en tous cas, seulement en partie, enlever les substances organiques à l'eau d'infiltration; son pouvoir absorbant vis-à-vis les acides est complètement disparu ou toutefois s'est limité à un haut degré et son pouvoir absorbant vis-à-vis les bases paraît atteindre seulement une certaine étendue, quand elle est argileuse ou riche en humus.

Maintenant se pose la question de savoir quelle cause a produit

---

sante de ce procédé extrêmement compliqué comprendra cela facilement et on reconnaîtra que du résultat principal suit par déduction une méthode de statistique certaine de façon à ne pas se laisser détourner par des anomalies locales accidentelles du sens principal du transport. Ce procédé, indispensable pour une recherche de ce genre, donne, cela va sans dire, le champ à différentes interprétations et incite à un examen approfondi des anomalies.

1. Le désaccord le plus essentiel consiste en ce que l'absorption de la potasse suit tout à fait l'absorption de l'ammoniaque dans les quatre profils représentés sur le tableau V, mais, dans les deux profils de landes extraordinairement riches en humus, elle diminue uniformément avec la profondeur.

ce changement d'une importance si extraordinaire et si le facteur cherché est en relation avec les transformations indiquées plus haut, qui, toutes, se laissent réduire à un passage du sol du terreau meuble, à un état de couverture de tourbe ferme.

Si l'on observe le tableau V, on reconnaîtra, par une comparaison des figures 1 et 2 avec les figures 3 et 4, que la relation la plus exacte consiste entre la teneur du sable plombifère en hydrate de sesquioxyde de fer et hydrate d'alumine et en matières humiques d'une part, et son pouvoir absorbant vis-à-vis l'acide phosphorique et l'alcali d'autre part. Là où la quantité de fer s'abaisse particulièrement au-dessous de 0,5 p. 100, l'absorption de l'acide phosphorique a tout à fait disparu et elle est extraordinairement faible dans toutes les formations où la quantité de fer ne dépasse pas 0,5 p. 100, tandis que l'absorption de l'ammoniaque paraît être limitée principalement sur les couches les plus riches en humates, ce qui s'accorde bien avec les recherches de König[1] sur le pouvoir absorbant des matières humiques vis-à-vis les liquides alcalins.

Là où le terrain des halliers de chênes prend le caractère du sable plombifère, son pouvoir absorbant se comporte, pour la partie essentielle, tout comme celui des gisements de sable plombifère normal. (Tableau VI.)

La relation indiquée ici entre la masse de sesquioxyde et d'humus d'un côté et le pouvoir absorbant d'un autre côté concorde parfaitement avec celle que d'autres auteurs ont admise pour les matières absorbantes du sol.

Le pouvoir absorbant de l'hydrate d'oxyde de fer est déjà depuis longtemps considéré comme extraordinairement grand, de sorte que même on a prétendu, en se basant sur des observations détaillées, que le pouvoir absorbant du sol vis-à-vis l'acide phosphorique est en rapport direct avec sa teneur en fer, qui absorbe aussi avec une plus grande intensité l'alcali des sels alcalins[2]. S'il a été aussi

1. König, *Ueber das Absorptionsvermögen hum. Medien* (*Landw. Jahrbücher*, t. XI, 1882).

2. R. Warrington jun. *Ueber die absorbirende Kraft des Eisenoxyds und der Thonerde in Bodenarten* (*Sur le pouvoir absorbant des différents sols vis-à-vis l'oxyde de fer et l'alumine* [*Journal für praktische Chemie*, t. CIV, 1868, p. 316]).

démontré plus tard que cette théorie est insoutenable dans sa généralité[1], tous sont pourtant d'accord sur ce point que l'oxyde de fer a une haute signification pour le pouvoir absorbant du sol[2]. Ce point a, pour notre recherche, un intérêt tout à fait particulier, parce que les sols dont on a parlé sont relativement pauvres en substances minérales absorbantes[3]. Cette pauvreté tient à ce que ces sols (les landes maigres), à cause de leur origine, contiennent peu d'argile et par suite peu de matières absorbantes, ou bien à l'état dans lequel les a mis le limonage de l'argile ou l'enlèvement par lavage de la chaux[4], etc., de la croûte superficielle de la terre. Les influences qui, à de telles places, par l'occlusion de l'air dans le mélange humique ou par la formation de grandes quantités d'acide humique libre, limitent encore plus la quantité de fer, doivent nécessairement aussi restreindre le pouvoir absorbant. Sur les sols riches en argile, dont il a été parlé page 292, le lavage produit une sorte de kaolin impur mélangé avec des fragments de gangue non décomposés. Il ressort des recherches de Knop[5] que le pouvoir absorbant de cette masse est très restreint et que l'absorption du kaolin se comporte vis-à-vis de celle de l'argile ferrugineuse ordinaire comme 4-22 à 77.

Mais à cela s'ajoute encore l'influence qu'a sur le pouvoir absorbant même la dissolution renfermant des acides humiques qui se trouvent souvent dans le sable plombifère. Quoiqu'il existe à peine des observations directes sur ce sujet, il ressort cependant de différentes observations que la présence d'acides libres dans le sol et, à la vérité, non pas seulement d'acides minéraux plus forts que l'acide

---

1. Voyez, par exemple, J. Frey, *Untersuchungen über das Absorptionsvermögen der Ackererde* (*Recherches sur le pouvoir absorbant de la terre arable* [*Landw. Versuchs-Stat.*, t. XVIII, 1875, p. 3]).

2. Voyez, par exemple, Knop, *Bonitirung der Ackererde* (*Classification des terres arables*). Leipzig, 1872, p. 72, et *passim*. — Detmer, *Bodenkunde*, p. 366-377.

3. Comparez les analyses citées page 209.

4. C. F. A. Tuxen, *Nogle Kemiske Undersögelser af Jordbunden i Bögeskove* (*Tidsskr. for Skovbr.*, t. III, p. 135, 145). — R. Weber, *Unters. über die Agron. Statik des Waldbaus* (*Recherches sur la statique agronomique de la sylviculture*) Leipzig, 1877, p. 31.

5. *Bonitirung der Ackererde*, p. 34-35.

chlorhydrique, mais aussi d'acide carbonique [1], d'acide acétique [2] et d'acides humiques [3], affaiblit ou augmente, ou tout au moins favorise la dissolution et l'enlèvement par lavage des sels une fois absorbés. Il est d'après cela très facile de comprendre comment la quantité d'alcali et de terres alcalines a pu si fortement décroître, ainsi que le montrent les analyses [4]; le pouvoir absorbant, en partie grâce à la présence d'acides libres, en partie grâce au manque de substances absorbantes, a subi une diminution si considérable que le sable plombifère est le plus souvent une couche au plus haut point infertile. L'examen direct du sol confirme complètement cette conclusion ; enfin ce n'est pas seulement la couche tourbeuse, mais très souvent aussi la superficie de l'*Ortstein* qui est remplie de racines de la végétation, tandis que la couche intermédiaire de sable plombifère est extraordinairement pauvre en racines.

Au contraire, le pouvoir absorbant, dans la partie du sol transformée en *Ortstein* ou en terre rouge, a subi un changement en sens contraire ; cette couche est devenue en sa totalité très fortement absorbante, ce qui ressort d'un examen répété du Tableau V ; l'absorption de l'acide phosphorique (fig. 3), tout aussi bien que celle de l'ammoniaque et, dans la plupart des places aussi, l'absorption de la potasse sont ici considérablement plus grandes que dans le sable plombifère et le sol sous-jacent. Cela doit être attribué, dans la première série, aux humates amoncelés dans cette couche, et, dans les landes, principalement à l'humate d'oxyde de fer [5].

Comme on l'a fait ressortir plusieurs fois, les matières humiques dans l'*Ortstein* proprement dite, brune ou rouge, commune à toutes les formations de ce genre, portent incontestablement l'empreinte d'une substance précipitée d'une dissolution : ici n'existe, à l'exception de mélange accidentel, aucune trace de charbon humique

---

1. *Idem*, p. 19.
2. Detmer, *Bodenkunde*, etc., p. 375.
3. Forchhammer, *Om Marsk*, etc., *passim*.
4. Comparez les analyses citées, p. 203-209.
5. Dans les meilleurs sols forestiers, l'humate de chaux qui, d'après les trois analyses communiquées dans le *Tidsskr. for Skovbr.*, t. III, p. 142-145, se trouve amoncelé, doit contribuer à une augmentation du pouvoir absorbant.

proprement dit, mais la matière organique forme une partie de l'enveloppe qui entoure chaque grain de sable en partie comme une croûte de terre fine. Elle renferme, à vrai dire, un peu d'acide humique libre, mais la masse principale doit pourtant consister en humates, souvent amoncelés dans la couche en quantité très considérable.

De telles substances humiques de nature minérale (*mineralhaltig*) ont, maintenant, ainsi que le montrent les belles recherches de Knop[1], un pouvoir absorbant considérable, en ce sens qu'elles peuvent, tout aussi bien que les silicates, former des sels doubles insolubles avec les corps absorbés. Le pouvoir absorbant des acides humiques, au moins relativement aux sels neutres, se tient en union étroite avec la quantité de bases minérales présentes. Si l'on parcourt maintenant toute la série présente des analyses de formation d'*Ortstein* de développement différent, il ressortira de cet examen la constatation d'un fort amoncellement de matières minérales dans cette couche, aussi constant que leur absence absolue dans le sable plombifère. L'analyse complète des couches dans cinq emplacements différents, faite par Tuxen, a établi que, quoique avec d'importantes divergences, il y a plus d'azote, de chaux, d'alumine, d'oxyde de fer, d'acide phosphorique et d'acide silicique amoncelés dans la couche de terre rouge que dans les deux couches limitrophes.

Mais cette couche absorbante a de plus la propriété que son pouvoir absorbant augmentera toujours proportionnellement à la quantité de matières qu'elle a pu absorber, car celles-ci ont en elles-mêmes et par elles-mêmes un pouvoir absorbant considérable, principalement l'hydrate d'oxyde de fer, l'hydrate d'alumine et la chaux. D'après cela, il est évident que dans des conditions favorables, il s'amoncelle de si grandes quantités de cette substance, qu'elles forment en dernier lieu la partie constituante la plus essentielle de la masse, comme par exemple le fer, dont on peut admettre peut-être l'existence dans les couches d'*Ortstein* de certains sols de landes mouillés, que la couche ne se décompose plus à l'air[2] et on n'est pas en état de tracer les limites entre l'action du phénomène d'absorption

1. *Passim*, p. 48.

2. Voyez l'observation citée plus bas, faite sur des pierres de taille dans la crypte sous le *Viborger Dom*.

et la formation de concrétions qui, d'après leur essence, doivent être considérées en elles-mêmes comme différentes. Tandis que l'oxydation des acides humiques se poursuit peu à peu dans l'*Ortstein* et que, sans doute, ces corps cèdent une partie de leur masse à l'état d'acide carbonique à l'eau qui s'infiltre lentement et qui en même temps entraîne avec elle certaines quantités des matières les plus solubles comme les alcalis et les terres alcalines, on devra attribuer une autre part aux acides humiques les plus difficilement solubles, particulièrement à ceux qui sont déposés dans les périodes de sécheresse et retenus.

Différence dans le gisement et la nature de l'Ortstein.

Il a déjà été mentionné plus haut que le gisement d'*Ortstein* dans les landes jütlandaises et les forêts sur sol sableux, aussi bien les forêts de chênes et les touffes de la région de landes que les chênes sur sable maigre (par exemple à plusieurs places dans les forêts de Silkeborg), se trouve toujours à une distance déterminée de la superficie, qui change peu sur de plus grandes lignes, tandis que dans de meilleurs sols, comme dans les forêts de chênes des îles, il commence sous forme d'une bande tout à fait fine à la superficie et souvent, sur des surfaces relativement petites, montre de très grandes différences au point de vue de l'éloignement à la superficie et de la compacité.

Nous voulons chercher une explication de ce manque d'accord, qui, d'après un examen plus approfondi, est en rapport avec plusieurs autres.

Nous commençons cette recherche par une nouvelle étude des premières traces, pour ainsi dire embryonnaires de l'*Ortstein,* qui se trouvent sous le sol en forme de terreau du hallier de chênes lorsqu'elles montrent un ton de couleur brun à peine perceptible dans la couche supérieure du sous-sol (tableau III, fig. 2), ton qu'on ne peut distinguer que sur des profils rendus lisses par l'époussetage et par une observation attentive de la couleur ocreuse des gisements profonds. La première question que nous posons est la suivante : comment cette nuance s'est-elle produite ?

Pour éviter les changements dans la solubilité des matières hu-

miques, liés au desséchement de la terre, l'opération simple suivante fut entreprise aux lieu et place, au moment du prélèvement de l'échantillon. Des échantillons de ces trois couches, à savoir le sol grisâtre en forme de terreau (*a*), la couche brunâtre (*b*) et le sous-sol (*c*) furent agités avec de l'eau distillée et une dissolution de soude fortement étendue. On obtint les résultats suivants :

EAU.	SOUDE.
a) Liquide faiblement coloré en gris jaune.	*a*) Liquide pas très intensivement coloré en noir brunâtre.
b) Liquide faiblement coloré en brun jaune.	*b*) Liquide d'une couleur noire brunâtre, plus sombre et plus intense que celle de *a* mais d'une nuance plus brune.
c) Liquide coloré faiblement en jaune de lehm et pas limpide (trouble).	c) La liqueur sodique presque tout à fait de la même couleur que la dissolution aqueuse.

Il ne peut exister aucun doute sur ce fait que la cause de la coloration différente des couches doit être cherchée dans la nature des matières organiques ; quoique *a* ne soit pas souvent moins sombre que *b* et doive être désigné par le praticien comme terreau, tandis que *c* est à considérer comme tout à fait dépourvu de terreau, cette couche renferme encore une quantité importante de matières humiques. Ce qui démontre à l'évidence que ce sont ces matières qui colorent la couche, c'est que l'échantillon de terre prélevé à une profondeur de 20 pouces ($0^m,5308$) immédiatement sous la place où le ton plus sombre de la couleur disparaît, ne donne pas une liqueur colorée par l'addition d'une dissolution de soude. La couche *a* renferme une si grande quantité de particules d'humus, de charbon d'humus de plantes non décomposées, etc., qu'elle est, ainsi que l'indique la figure 2 du tableau VI, beaucoup plus riche en substances organiques que la couche sous-jacente, et si l'on rapproche cette observation de la différence dans la coloration des liquides mentionnée plus haut, on ne peut, en aucune façon, mettre en doute que la couche *b* est colorée par des acides humiques et des humates solubles, qui, dans la couche *a*, qui doit sa coloration foncée particulièrement aux dépôts de particules d'humus noires, existent en beaucoup moins grande quantité.

Une observation plus attentive du tableau VI permettra de formuler une conclusion sur ce qui s'est passé sous le bon terreau de boqueteau. La figure 1 de ce tableau montre notamment que le sol a perdu une partie de son fer ; une comparaison avec la ligne a^1 dans la figure 2 du tableau IV rend extrêmement vraisemblable que cela puisse être le résultat du lavage produit dans le cours des temps sous l'influence de l'activité de la vie animale, comme cela a été mentionné p. 286 et 287, et en même temps parce que le pouvoir qu'a le sol d'absorber les acides a été affaibli (tableau VI, fig. 3). La couche supérieure du sous-sol, un peu plus fortement colorée, a cependant retenu les sels de fer amenés du sol (tableau VI, fig. 1), par quoi son pouvoir absorbant relativement aux acides s'est encore augmenté, ce qui en partie peut s'expliquer par l'attraction réciproque du fer et de l'acide phosphorique, et en partie s'accorde bien avec les recherches de König[1] sur le pouvoir absorbant des humates. Le sol terreau blanc, analogue au sable plombifère du hallier, dans lequel le sol est tout aussi fortement épuisé par lavage (tableau VI, fig. 1), lorsqu'aussi les matières humiques existent en plus petite quantité (fig. 2), montre naturellement les particularités dont on a parlé avec une empreinte plus nette.

Il semble d'après cela qu'on soit autorisé à tirer la conclusion que dans le sol sableux extraordinairement maigre, dans lequel les sesquioxydes et les humates qu'ils forment sont les milieux (*medien*) absorbants les plus importants, cette partie du terrain, qui est le siège de la vie organique, peut être si pauvre en ces matières, que c'est à la couche la plus superficielle du sous-sol qu'échoit l'activité de retenir, grâce à sa plus grande teneur en éléments basiques, particulièrement en oxyde de fer, non seulement les combinaisons enlevées par lavage par l'eau chargée d'acide carbonique, mais en même temps la quantité d'acide humique dans le sous-sol au-dessus du quantum qui peut lier cette couche pauvre[2]. La couche d'*Ortstein* se développe dans le sous-sol.

---

1. *Passim*, p. 49.

2. Il y a une analogie dans ce fait que, dans de bons terrains humiques où l'air a accès, en vertu de l'absence de telles bases qui puissent se combiner aux acides humiques formés, le lavage par l'eau donne un liquide brun, qui, pourtant, est de nouveau

Si maintenant, avec cette conception des conditions existant dans le sol du hallier et ayant devant les yeux le tableau VI, nous nous enfonçons plus avant dans la lande jusqu'aux formations plus anciennes et dont l'empreinte est mieux définie, nous verrons alors, d'une part, que celles-ci conservent un sol toujours plus lavé, un sous-sol dont le pouvoir absorbant est plus grand ; d'autre part, quand nous arrivons au profil représenté dans la figure 4 du tableau III, qu'il existe une différence considérable dans le caractère des parties supérieure et inférieure de l'*Ortstein*, condition à laquelle on doit attribuer la plus grande importance pour la compréhension de la différence entre les formations d'*Ortstein* de la lande et du sol argileux.

La couche superficielle du sous-sol (*b*), représentée par la figure 3 du tableau III, a une coloration tout à fait homogène, tandis, ainsi que le montre le dessin, sur l'emplacement représenté par la figure 4, la couche, jusqu'en haut où elle s'est fondue avec *a*, la partie la plus inférieure du sable plombifère, est beaucoup plus sombre. Pour examiner le changement qui s'est produit dans la composition lors du passage de la première forme à la seconde, l'échantillon destiné à l'analyse pour la figure 3 fut pris au milieu de la couche, etc., celui pour la figure 4 partagé en deux ; la première moitié fut prélevée aux limites des couches *a* et *b* et, à la vérité, de telle façon qu'elle contenait des parties des deux, tandis que l'autre moitié avait été prélevée au fond de *b* à quelques pouces au-dessus du sol, en apparence exempt d'humus. Les traits principaux des analyses et les recherches sur l'absorption sont représentés sur le tableau VI. Les figures de ce tableau montrent clairement que le changement le plus essentiel doit être attribué à la partie supérieure de la couche d'*Ortstein* dans laquelle les matières humiques sont principalement amoncelées.

---

décoloré dans un sol plus riche en ces substances, comme cela arrive dans le cas cité. Knop dit notamment (*Kreislauf des Stoffs*, t. I, p. 513), d'après ses propres recherches et celles d'autres, que quand on lessive de la bonne terre avec de grandes quantités d'eau, celle-ci coule d'abord incolore, et enfin jaunâtre, quelquefois aussi plus tard brunâtre. Il a remarqué que la coloration a commencé à se produire après que les sels alcalins eurent été dissous par lavage et qu'une nouvelle addition de sel de chaux fait que la liqueur redevient incolore et libre de toute matière.

Cette partie de la couche renferme en même temps la plus grande quantité de matière inorganique (indiquée par la quantité de fer) et son pouvoir absorbant, aussi bien par rapport aux acides, est extraordinairement grand.

Cette partie noire de l'*Ortstein,* presque analogue à la tourbe qui se trouve principalement sur les landes plus humides[1], est caractéristique du sable de lande maigre et on ne la trouvera jamais, autant que mes connaissances me permettent d'en juger, dans l'*Ortstein* de meilleur sol ; son influence sur la nature de la couche est sans doute très grande. Comme cette partie ne consiste pas seulement en combinaison d'acides humiques précipités, mais principalement en charbon d'humus entraîné par limonage, elle possède, outre son absorption reposant sur des échanges chimiques, en même temps le pouvoir purement physique de retenir, comme du charbon ordinaire, des liquides absorbés et doit former à l'intérieur de l'*Ortstein* une couverture compacte insoluble, qui ne se trouve jamais dans de meilleur sol renfermant une plus grande quantité de terre fine et n'est pas si facilement limoné. Plus est grande la quantité de composés inorganiques amoncelés dans la couche où sont déposés les acides humiques, plus ceux-ci sont difficilement solubles[2] et le grand pouvoir absorbant de l'*Ortstein* ne le rendra pas seulement plus riche, mais encore en même temps augmentera sa faculté de retenir les acides humiques, par lesquels à leur tour son épaisseur et sa fermeté seront augmentées. L'action ininterrompue d'échanges entre les acides humiques apportés, formés en lieu et place, et les éléments basiques absorbés accélérera et poursuivra la formation.

D'après cela, il n'est pas invraisemblable que, lorsqu'aucune différence essentielle ne sépare la couche d'*Oristein* de la superficie dans le sol de landes, cela tient, pour le sol plus humide, à ce que la partie superficielle tourbeuse de l'*Ortstein* forme un obstacle au lavage poursuivi de la couche de sable plombifère ; sur la lande sèche, haut placée, la circonstance que la croûte

---

1. Voir p. 238 et 239.

2. Voyez, par exemple, Knop, *Bonitirung der Ackererde.* Leipzig, 1872, p. 20. — Barfoed, *De organiske Stoffers qualitative Analyse* (*De l'analyse qualitative des matières organiques*), Kbhn, 1878, p. 179.

de lande qui, ainsi que nous l'avons vu page 288, cède beaucoup moins d'acide humique à l'eau qui s'infiltre à travers que la tourbe de hêtres, contribue peut-être à empêcher la formation du sable plombifère ; et sur les deux emplacements, l'amoncellement visible dès le début d'éléments basiques, et notamment d'oxyde de fer, favorise vraisemblablement le gisement uniforme de cette couche dans l'*Ortstein*[1].

Nous nous livrons maintenant à une observation plus attentive du développement de la formation d'*Ortstèin*, dans des sols renfermant environ 10 p. 100 et plus d'argile, et nous commençons cette étude par un examen des conditions dans les sols argileux en forme de terreau.

Pour ces sortes d'emplacements, nous possédons trois séries de recherches danoises, dont une a trait à la croûte de terre superficielle jusqu'à une profondeur d'un pied[2] (0m,3138) et les deux autres embrassent le terrain portant la végétation à une profondeur respective de 2 pieds et demi et 4 pieds[3] (0m,7846 et 1m,2554). A cela peuvent s'ajouter encore trois recherches allemandes, une de Stöckhardt, de l'année 1865[4] et deux de R. Weber, de l'année 1877[5], qui, toutes trois, dans leurs résultats principaux, s'accordent d'une façon exceptionnelle avec les analyses de Tuxen.

Il ressort de ces observations faites sur différents emplacements forestiers en Danemark, en Saxe et en Bavière, que le sol, abstraction faite de la couche supérieure de terreau mélangé à des restes de plantes décomposés, est plus pauvre que le sous-sol et à la vé-

1. La possibilité d'accroissement en puissance de la couche de sable plombifère ne peut pas assurément être contestée ; mais ce processus doit avoir lieu si lentement qu'il s'est dérobé à mon observation.

2. Voir p. 199.

3. Voir p. 201 et 202.

4. Stöckhardt, *Ueber die Bodenverarmung durch Streurechen u. s. w.* (*De l'appauvrissement du sol par le ratissage de la paille*, etc.). [*Landw. Versuchsstat.* t. VII, 1865, p. 311.]

5. R. Weber, *Untersuchung über die Agron. Statik des Waldbodens* (*Recherches sur la Statique agronomique du sol forestier*), Leipzig, 1877, p. 28, profils I et III. Les échantillons de terre examinés par Weber sont d'ailleurs prélevés si près de la superficie qu'ils ne peuvent en aucune façon approcher de ce que nous appelons sous-sol (*Untergrund*), d'où résulte apparemment un peu d'incertitude dans les nombres. Son profil II est vraisemblablement du sol recouvert de tourbe.

rité non pas seulement en éléments lixiviables (limonables, *ausschlämmbar*), comme par exemple l'argile ferrugineuse, mais aussi en éléments nutritifs des plantes solubles dans l'acide chlorhydrique étendu, la potasse, la chaux, la magnésie et l'acide phosphorique. Il n'est pas impossible que cette quantité plus restreinte de principes nutritifs des végétaux d'une si grande valeur existant dans le sol provienne de la consommation des plantes ; la différence entre les quantités de ceux-ci dans le sol et le sous-sol est à peine assez grande pour être attribuée à cette cause.

Nous avons cherché à déterminer le pouvoir absorbant du sol de terreau vis-à-vis de l'ammoniaque, de la potasse et de l'acide phosphorique, à des profondeurs différentes sur trois emplacements (Tableau VII). Les transports constants et en apparence régis par une loi que montre le pouvoir absorbant du sol recouvert de tourbe de la superficie vers la profondeur, n'ont cependant pas ici une empreinte aussi forte : dans ce sol plus riche, la variété du pouvoir absorbant se fait fortement valoir et les recherches ne sont pas suffisamment vastes pour fournir une explication complète des variations.

Mais une étude plus détaillée du tableau VII nous conduit pourtant aux conclusions suivantes, facilement explicables.

L'absorption de l'acide phosphorique paraît être dépendante de l'argile et de la quantité de fer ; c'est pourquoi elle s'affaisse fortement juste dans la croûte superficielle, où ces corps existent en plus petite quantité. L'absorption de l'alcali paraît dépendre dans le sol surtout des matières et combinaisons humiques[1] et, pour cela, augmente de la croûte du sol vers le sous-sol. Seulement juste à la superficie, où une grande partie des matières humiques consiste en restes de plantes décomposés, le sol absorbait beaucoup plus fortement l'ammoniaque que la potasse. Le pouvoir absorbant du sous-

1. La quantité de chaux, qui a également une grande importance pour l'absorption des bases, mais qui n'a pas été déterminée dans les échantillons de terre dont on a étudié le pouvoir absorbant, a, d'après des analyses faites précédemment et se rapportant aux mêmes emplacements forestiers, tout à fait le même transport que l'absorption de l'alcali. Comparez profils II et III sur le tableau I avec la figure 4 du tableau VII.

sol, où la quantité d'argile et de chaux augmente au fur et à mesure qu'on monte, croît fortement au contraire de haut en bas.

Si maintenant la tourbe tire sa couverture filiforme sur la croûte terrestre, celle-ci se place donc sur cette partie du sol qui est des plus pauvres en argile ferrugineuse et contient moins que les couches plus profondes de matières inorganiques solubles, dont l'absorption des acides est plus loin relativement faible et dont l'absorption des bases paraît enfin liée dans une proportion qui n'est pas négligeable aux combinaisons humiques facilement décomposables. D'après cela, il paraît évident qu'aussitôt que le sol est devenu ferme et que l'accès de l'air a été empêché par la couche filiforme de la formation de tourbe à son début, le lavage doit commencer immédiatement à la superficie du sol qui est le plus fortement mélangée avec des matières humiques et le plus facilement lavée, à cause de sa pauvreté relative en combinaisons solubles. La teneur du sol en argile avec oxyde de fer croît rapidement avec chaque pouce de profondeur et comme le sol tout entier n'est pas, comme les sols sableux maigres, dépouillé par le limonage des matières que l'eau chargée d'acide peut emporter, la formation de sable plombifère doit commencer sur un sol plus argileux comme une faible bande sous la tourbe et peut tout d'abord, avec le temps, augmenter en puissance, tandis que le développement, semblable à celui qu'on a décrit plus haut, doit être différent.

La bande de sable plombifère formée suit conformément à la nature la bande de terre rouge, de puissance et de richesse en humus différentes, d'après la nature de la dissolution, qui, ainsi que nous l'avons vu, s'infiltre, sans être décolorée, de la couche de tourbe à travers le sable plombifère.

Il me semble en tous cas facile de comprendre comment l'apport poursuivi et croissant régulièrement de l'eau acide peut enlever par lavage les éléments basiques, qui cimentent au début les acides humiques colorants et comment, de cette façon, la couche de sable plombifère peut augmenter régulièrement. Mais, pourtant, il reste encore deux questions à résoudre, avant que nous ayons obtenu une conception complète de la différence de la formation d'*Ortstein* dans le sol de landes sableux et dans le sol forestier argileux :

Pourquoi ne se forme-t-il pas, dans ces derniers emplacements, d'*Ortstein* noir qui se trouve si souvent dans la lande, qui contribue sans doute essentiellement au maintien de cette formation à sa place de gisement d'origine, et pourquoi ne s'amoncelle-t-il pas de fer dans l'*Ortstein* du sol argileux, comme dans celui du sol de lande, qui favorise également la stabilité de toute la couche ?

Il est facile de répondre à la première question. Dans les nombreux examens que j'ai faits de sol recouvert de tourbe des forêts de chênes dans un terrain moins pauvre en argile, je n'ai jamais trouvé aucune trace d'*Ortstein* noir et jamais non plus la couche de sable plombifère, mélangé avec du fin charbon d'humus, comme dans le sable de lande. C'est pour cela qu'on voit plus fréquemment du sable plombifère blanc de neige dans les sols argileux que dans le sable de lande et une coloration plus sombre dans les vieilles couches de sable plombifère, dont la teneur en humus ne peut provenir d'un résidu d'un sol de terreau antérieur, porte sur les meilleurs emplacements à un degré tout à fait prépondérant une empreinte telle qu'elle montre qu'elle provient de la même matière qui colore l'*Ortstein,* par conséquent d'acides humiques solubles, qui se trouvent sur le chemin de la couche de tourbe à l'*Ortstein.*

Les éléments de ce sol ont des grains si fins et leur compacité est pour cela si grande, qu'un entraînement au fond par limonage du charbon humique ne peut avoir lieu, comme dans le sable maigre à gros grains et lavé. Il est au contraire beaucoup plus difficile de répondre à la dernière question. Le professeur Tuxen a donné, pour huit emplacements de sol sableux maigre, des déterminations de la quantité de fer dans la couche d'*Ortstein,* qui toutes contiennent beaucoup plus, le plus souvent deux à trois fois autant de fer que le sous-sol (Tableaux V et VI) ; pour l'*Ortstein* argileux nous avons six analyses[1] de différents emplacements (Tableaux IV et V) qui montrent qu'ici, dans cette couche, qui est plus pauvre en fer que le sous-sol[2] il

1. Voyez aussi tableau II.

2. Un seul emplacement forestier dans les îles (*Sölleröd-Kirkeskov,* tableau V, figure 1), s'accorde presque tout à fait avec les landes, au point de vue des conditions dont on vient de parler ; mais cet emplacement est en partie anormal (*abnorm*) sous

n'y a pas d'amoncellement de fer. La différence doit donc être considérée comme parfaitement constatée. Des recherches directes faites pour expliquer cette merveilleuse condition n'existent d'ailleurs pas, mais l'interprétation suivante me semble être admissible.

Quoiqu'on doive supposer que l'oxydule de fer se transforme beaucoup plus facilement en oxyde dans le sol sableux ouvert, facilement accessible à l'air, que dans le sol argileux compact, cela ne me semble pas cependant suffisant pour expliquer la différence très grande et extrêmement constante de la quantité de fer de l'*Ortstein* dans les deux sortes de sol ; on doit chercher un facteur plus éloigné, agissant essentiellement.

Les deux bases, à l'état de carbonate de chaux et d'oxydule de fer dissous dans l'eau chargée d'acide carbonique, se trouvent dans les eaux souterraines qui jaillissent à la surface comme eau de source et il faudrait maintenant examiner si la cause en vertu de laquelle la terre n'a rien retenu de ces carbonates n'est pas pour les deux unique ; la manière d'être du carbonate de chaux est aujourd'hui bien connue, tandis que le carbonate d'oxydule de fer n'a pas été, que je sache, étudié.

Il est hors de doute que le pouvoir absorbant vis-à-vis de la chaux ne fait pas défaut au sol, si bien que cette matière peut être retenue par exemple par les acides humiques, mais, d'un autre côté, de nombreuses recherches ont démontré que l'absorption de la base dans les sels alcalins repose principalement sur ce que la chaux est déplacée de ses combinaisons par les bases plus fortes et reste dans la dissolution. L'eau de drainage sous la partie cultivée de notre pays renferme pour cela de la chaux et, plus la terre a été enrichie en alcali par la fumure, plus la chaux a été entraînée par l'eau de pluie [1].

Si nous faisons abstraction de la chaux qui se trouve dans l'eau de

---

plusieurs rapports, en ce sens que la quantité d'argile diminue avec la profondeur, qu'en partie le sous-sol consiste ici en sable maigre, très analogue au sable de la lande, et qu'enfin la place où ont été prélevés les échantillons n'avait pas été heureusement choisie, car c'était un bosquet montagneux escarpé, auquel l'eau superficielle peut avoir donné l'état anormal.

1. Voyez notamment les excellentes recherches de Vœlcker sur les eaux de drainage de Rothamsted (*Heiden's Düngerlehre,* p. 375-380). Comparez aussi les recherches de Peter sur l'absorption de la potasse (*Detmer's Bodenkunde,* p. 329-336, etc.)

source et qui provient de l'infiltration de l'eau chargée d'acide carbonique à travers les couches marneuses et calcaires et si nous dirigeons particulièrement notre attention sur la croûte de terre humique, le lavage de la chaux par l'enlèvement du sol peut signifier une relation entre cette base et une base plus forte ; les acides puissants qui s'y trouvent s'emparent de celle-ci et abandonnent la chaux à l'eau chargée d'acide carbonique.

Il n'existe pas d'oxydule de fer dans le sol de champ meuble, bien travaillé, et dans le terreau, ce qui est certainement considéré comme funeste pour beaucoup de plantes. Mais on peut considérer comme incontestable, d'après ce qui a été dit plus haut, que cela s'est formé dans le sol recouvert de tourbe [1]. Si maintenant nous voyons qu'il n'est pas absorbé sur son chemin dans le sol, là où celui-ci est plus riche et renferme des masses considérables d'argile avec le contenu ordinaire de cette matière en autres produits de décomposition du feldspath et d'autres minéraux qui produisent l'argile, tandis qu'il est retenu en proportion assez considérable dans l'*Ortstein* riche en acides humiques du sol sableux pauvre en bases et à la vérité le plus fortement là où la quantité d'acides humiques est la plus grande, ainsi s'impose la conclusion, analogue aux conditions de l'absorption de la chaux, que c'est justement la plus grande richesse du sol argileux en bases minérales plus fortes qui diminue l'absorption de l'oxydule de fer ou favorise le changement de celui-ci et qu'elle porte la faute de l'absence de fer de l'*Ortstein* dans les sols argileux. D'après cela, les acides humiques dans les sols riches, fortement minéraux, ont dû être facilement combinés par l'humate d'oxydule de fer avec de plus fortes bases, notamment la chaux, tandis que l'oxyde de fer s'en va avec l'acide carbonique, exactement de la même façon que la potasse et l'ammoniaque dans les bons sols arables ont été arrêtées par les acides plus puissants, tandis que la chaux est abandonnée à l'acide carbonique et entraînée par l'eau chargée d'acide carbonique. D'autre part, l'absence dans

1. La présence de ce corps dans la tourbe et dans le sable plombifère a été d'ailleurs constatée directement par le professeur Tuxen (*Tidsskr. f. Skovbr.*, t. II, p. 188 à 193 et t. I, p. 267).

le sol de lande de bases plus fortes et la grande richesse de l'*Ortstein* en acides humiques permettra l'absorption des sels d'oxydule de fer ; ensuite ils peuvent, dans les temps de sécheresse pendant lesquels l'air a de nouveau accès dans la croûte terrestre, être déposés à l'état de sels d'oxydule de fer insolubles.

L'amoncellement du fer dans l'*Ortstein* de la lande n'exclut pas, à vrai dire, la possibilité que la formation puisse être envisagée non comme un phénomène d'absorption, mais bien comme un phénomène de concrétion, à la suite duquel les substances homogènes cherchent pour leur formation de plus grands amoncellements. Mais je crois que cette conception est insoutenable et cela d'après les raisons suivantes.

Une fois des concrétions de fer, sur lesquelles on ne peut avoir aucun doute, dans les mêmes sols que ceux dont il est question ici, prennent des formes tout autres que celles que nous allons voir de suite. Deuxièmement, la première origine faiblement indiquée de la couche d'*Ortstein*, qui, pour ainsi dire, nous donne la clef de la conception de cette formation, ne peut être considérée comme un phénomène de concrétion ; de plus, l'amoncellement de fer est partagé d'une façon trop uniforme à travers toute la couche. Troisièmement enfin, je ne pense pas qu'on puisse élever une objection essentielle contre l'idée exprimée plus haut, que la formation d'*Ortstein* est principalement un phénomène d'absorption, et mon opinion est que cette conclusion est la plus naturelle d'après l'ensemble des prémices. Mais, cela n'exclut pas que l'amoncellement qui est amené par l'absorption puisse se terminer par la concrétion et que cette force doive intervenir pour transformer l'*Ortstein* humique (*Humusortstein*) ferrugineux qui se décompose facilement à l'air en *Ortstein* ferrugineux (*Eisenortstein*) proprement dit, inaltérable à l'air, qui, à ce qu'il paraît, peut exister au fond sous des sols de landes humides et des sols marécageux.

Si nous jetons un coup d'œil rétrospectif sur l'ensemble de la précédente recherche concernant le sable plombifère et l'*Ortstein* dans les landes et dans les forêts, je crois bien qu'on peut en tirer la conclusion suivante : ces phénomènes peuvent et doivent être interprétés comme le résultat de l'occlusion de l'air du sol en partie

par une plus grande compacité et un autre degré d'humidité que ceux qui existent dans le sol de terreau meuble du même emplacement, en partie aussi par l'influence variée de la couche de tourbe riche en acides humiques. La cause principale des différences très considérables dans la nature de l'*Ortstein,* ainsi que le montre une observation plus détaillée, doit être attribuée à l'action différente de mêmes causes sur le caractère non homogène du terrain.

Ortstein comme formation de concrétion et fer limoneux.

Pour donner encore plus d'étendue à la conception des conditions dont on vient de parler dans ce qui précède, on doit encore mentionner quelques phénomènes qui doivent être envisagés comme différents de ceux-ci, quoique ces deux sortes se sont transformées fréquemment l'une dans l'autre. Ce sont les concrétions proprement dites de fer de caractère différent qui se trouvent dans le sol riche en humus.

Toutes les variétés d'*Ortstein* ferme et meuble et de terre rouge, dont on a parlé dans les chapitres précédents, qu'elles puissent maintenant apparaître aux places de gisement sous forme de masses terreuses meubles, ou atteindre une plus grande fermeté, ont cela de caractéristique, qu'elles ont pour bases et pour élément essentiellement cimentant et liant des dépôts d'acides humiques et des humates, que, pour cela, elles se décomposent par l'addition de liqueur de soude avec laquelle elles donnent ensemble une dissolution dont la couleur varie du brun au noir, tandis, qu'au contraire, les acides minéraux étendus n'agissent que faiblement sur elles et que, exposées à l'air, elles se décomposent en peu de temps complètement en un sable dont la couleur va du jaune au noir brun. Leur formation doit, d'après la cause principale, comme nous l'avons vu, être considérée comme un phénomène d'absorption, qu'elles puissent contenir plus ou moins de fer que la terre environnante, ce qui, selon toute apparence, provient seulement des différences produites dans l'absorption par la teneur de la masse absorbante en bases minérales.

Différentes, comme base, de celles-ci, sont les formations qui se trouvent dans les landes et dans les forêts, caractérisées également

par le nom trivial (*Trivialnamen*) d'*Ortstein,* dont le ciment principal (*Hauptbindemittel*) est l'oxyde de fer, particulièrement l'hydrate d'oxyde de fer; elles sont pour cela insolubles dans la liqueur de soude, mais se détruisent à chaud avec l'acide chlorhydrique étendu; elles ne se décomposent pas à l'air, leur formation doit être considérée comme un phénomène d'absorption, et leur contenu en sable et en autres éléments de la terre dépend principalement du sol dans lequel cet agrégat s'est formé. Elles peuvent se trouver soit comme de la pierre de sable ferrugineux proprement dite, qui consiste en sable avec de l'oxyde de fer, soit comme fer limoneux dont les éléments mélangés dans la proportion d'une quantité d'oxyde de fer qui, d'après Senft[1], varie entre 80 et 95 p. 100, forment une partie restreinte de la masse.

La première forme nommée, le grès limoneux (*Limonitsandstein*) se présente principalement sous trois formes. Premièrement, il se trouve sporadiquement sous la croûte de lande dans les landes *montagneuses*[2], aussi bien dans le sable plombifère que dans l'*Ortstein* et la couche supérieure du sous-sol, mais particulièrement dans le sable plombifère, comme grumeaux plus ou moins petits, de forme plate et, à la vérité, de très petits corps en forme d'écailles jusqu'aux grès d'environ un pied (0m,3138) de diamètre. Dans la plantation de Holter et de Birback, dans les paroisses de Rend et Arnborg, il y a des lignes sur lesquelles des charrues employées pour la culture des landes (*Haidepflügen*) amènent au jour ces fers limoneux, tandis que ceux-ci ne se trouvent pas sur d'autres étendues. La forme homogène, semblable à un disque, et la superficie particulière rude justifient l'hypothèse qu'on a affaire ici à des terrains poussés au loin (*Geschiebe*) qui n'ont pas été formés en lieu et place, mais amenés ensemble avec d'autres fragments de la montagne plus gros et mélangés au sable de la lande.

La deuxième forme de gisement de cette pierre de sable-limonite (*Limonitsandsteine*) consiste en de plus grands rassemblements attei-

1. Senft, *Humus, Marsch,* etc., p. 176.

2. Vraisemblablement ils se trouvent aussi dans les surfaces de landes, mais je ne connais pas leur sol aussi exactement que celui des parties montagneuses et je ne me rappelle pas avoir vu cette limonite dans celui-ci.

gnant plusieurs *ellen* cubiques d'une masse analogue au sable ferrugineux. Si on enfonce la charrue de landes (*Haidepflug*) sur une telle masse, on a au premier instant l'impression qu'on a devant soi une roche pourrie; la superficie est molle et se laisse briser par le soc, mais le noyau est ferme et compact. Mais une observation plus attentive montre qu'il existe une formation en voie de développement, qui commence par le dépôt d'oxyde de fer sur une quantité de petits centres de concrétion, qui, par suite de l'amoncellement poursuivi du fer, se fondent ensemble en de plus grands blocs. Le fait que la masse de limonite est formée aux lieu et place ressort clairement de son sable environnant, car le grenage (*Körnung*) correspond aux parties du squelette du sol et, partout où l'on remarque un changement ou une indication du partage des couches dans le sable, le phénomène se poursuit dans l'intérieur du grès. Le dépôt est de telle nature que le grumelage de la limonite s'étend au-dessus dans le sable plombifère et en dessous dans le sous-sol et occupe avec la masse principale la place de l'*Ortstein* meuble normal, sans pourtant conserver la limitation de celui-ci; je n'ai trouvé nulle part ces blocs à plus de deux pieds ($0^{m},6277$) au-dessous de la superficie, tandis que, d'après d'autres auteurs, ils doivent se trouver à une profondeur beaucoup plus grande dans le sol.

C'est à peine si l'on peut mettre en doute que la première cause de ces formations est la même que celle à laquelle le sable plombifère doit son origine, c'est-à-dire la réduction de l'oxyde de fer par l'exclusion de l'air d'un sol riche en humus et la formation de combinaisons de fer solubles: Mais le dépôt renouvelé du fer ne peut évidemment pas suivre sa marche sous l'influence de forces de même nature que celles qui amoncellent uniformément des sels de fer divisés dans la superficie du sous-sol imprégnée par les acides humiques. Les limonites en question doivent s'être formées de la même façon que les *pierres néphritiques* (*Nieren*), les grumeaux et les concrétions de différentes sortes, comme par exemple la chaux, la pyrite sulfureuse, le fer limoneux, etc., qui se trouvent si fréquemment dans notre sol et dont l'origine de leur formation est un amoncellement continu de plus grandes masses de la même matière

sur un centre de dépôt. Je pense que la formation poursuit sa marche principalement quand la croûte supérieure est imprégnée d'eau et j'ajoute cette remarque à ce propos, parce que j'ai trouvé ces limonites sur des plateaux toujours aux places avec une petite pente, dont quelques-unes offrent des signes incontestables d'un sous-sol compact, parfois de lehm ou argileux, à une distance relativement restreinte de la superficie.

Parmi ces limonites, on doit encore compter le grès ferrugineux, qui, autant que mes connaissances me permettent d'en juger, doit exister principalement dans le sol de lande humide, à l'état de plus grandes parties sous forme d'île de l'*Ortstein* humique ordinaire; je ne l'ai pourtant jamais observé même sur la place de formation. Il me paraît ici pouvoir se former sur de plus grandes places en couches semblables de puissance vraiment considérable, comme l'*Ortstein* humique (*Humusortstein*). Je veux admettre seulement comme probable l'explication donnée plus haut que de telles couches peuvent prendre naissance par un amoncellement poursuivi du fer dans l'*Ortstein* humique, si bien que celui-ci est transformé en une véritable limonite. Comme un témoignage de la durée de ce grès, on doit invoquer ici le fait que quelques-uns des blocs de pierre, qui reposent dans le mur de la crypte de la cathédrale de Viborg, consistent en grès ferrugineux qui, évidemment, appartient à cette espèce et vraisemblablement a été tiré de la contrée environnante; ces blocs ont résisté très bien à l'efflorescence durant 700 à 800 ans.

La deuxième forme de concrétion ferrugineuse réelle, qui a été trouvée dans nos forêts et nos landes, est le fer limoneux (véritable limonite), dont l'existence en dehors des marais ne paraît pas avoir été suffisamment étudiée chez nous. Il se trouve non pas seulement dans les marais forestiers, les prairies tourbeuses et les marais de landes, sous forme de masse noire, de la grandeur d'un grain de sable et d'un pois jusqu'à des blocs de volume considérable, mais aussi, dans certaines circonstances, dans le sol argileux même, dans des conditions bien propres à compléter les observations communiquées plus haut sur le caractère des couches du sol forestier ordinaire.

Sous le sol meuble, en forme de terreau, de coloration homogène, se trouve très généralement répandue, dans beaucoup de con-

trées la couche grisâtre, parfois blanche et ferme, mentionnée dans la première partie de ce travail, et dont il a été parlé à nouveau au commencement du présent mémoire (voir p. 221), et que j'ai appelée la partie supérieure du sous-sol. Il a déjà été dit que cette couche, en dépit de sa dureté parfois très grande, est plus ou moins poreuse, qu'elle existe principalement dans un sol de sable argileux ou d'argile sableuse, qu'elle n'est pas précipitée par des acides minéraux étendus ou une dissolution d'alcali, et qu'elle doit être envisagée comme une couche dont la fermeté est due à des particules entraînées en bas ou concentrées par limonage, particulièrement de l'argile fine, par quoi les autres éléments du sol sont cimentés. Je n'ai jamais trouvé cette formation dans le sol très pauvre en argile et, dans l'argile tenace, elle fait aussi ordinairement défaut. D'ailleurs, son apparition est tout à fait indépendante de la végétation, car on la trouve dans les forêts avec chaque essence et elle existe aussi dans les landes argileuses, par exemple, près Villestrup.

Les études poursuivies ont montré que cette couche ne joue pas un rôle accessoire pour la végétation sur le sol naturel, en ce sens que son éloignement de la superficie est, dans beaucoup de cas, déterminant pour ce que le praticien caractérise sous le nom de Flach- und Tiefgründigkeit du sol. Ce qui repose sur cette couche que nous voulons appeler « *Thonortstein*[1] » (ortstein argileux), d'après la nature de ses éléments cimentants, est, à un degré tout à fait prépondérant, cette partie du sol qui est le siège de la vie animale ; certes, il est peut-être entièrement formé par des vers de terre (voyez plus loin) et se distingue de la façon la plus frappante par sa porosité et, le plus souvent, en même temps par sa couleur de *Thonortstein*. La puissance du sol varie, dans notre sol moyen argilo-sableux, entre 1 et 3 pieds (0^m,3138 et 0^m,9415) et, ordinairement, le *Thonortstein* repose à 2 pieds (0^m,6277) au-dessous de la superficie ; mais, sur de bon sol, cet éloignement peut s'élever à plus de 6 pieds (1^m,883), comme dans la forêt de Folehave, tandis qu'il peut aussi s'affaisser de 3 à 5 pouces (0^m,0784 à 0^m,1307).

---

1. Dans le Jütland nord, aux environs de Villestrup, cette couche est appelée par la population *Waldortstein* ([*Skovahl*] ortstein de bois).

Aussitôt que l'éloignement à la superficie ne comporte que 1 pied (0^m,3138) ou au-dessous, cela se constate tout de suite à la hauteur restreinte qu'atteignent les arbres et, seul, l'épicéa atteint un développement complet avec ses racines s'étendant sous la superficie. Quand le *Thonortstein* avance encore plus près de la superficie, la forêt de chênes se rabougrit, les tiges ont une épaisseur restreinte, la hauteur ne dépasse pas souvent 50 à 60 pieds (15^m,99 à 19^m,131), même dans la forêt centenaire, et les arbres sont *enguirlandés*. D'après la première impression qu'on ressent à la vue d'une telle croissance arbustive, on pense trouver ici un mauvais sol ou de l'*Ortstein* fort, mais le creusement montre que le sol consiste en *Lehm* aussi bien qu'en argile assez tenace, et que la couche de terreau est de bonne nature, mais forme seulement une couverture mince sur le *Thonortstein* rude et ferme.

Quelquefois, dans cette formation, il se développe du fer limoneux réel, comme par exemple aux places plus humides dans la forêt, près Sophie-Amaliegaard, Gut Glausholm dans le Jütland (Tableau III, fig. 8).

Quand le *Thonortstein* gît si près de la superficie qu'il arrive sous l'influence immédiate d'une bande humique, et quand le sous-sol consiste en terre glaise que l'eau ne traverse que difficilement, il est, aux époques humides de l'année et dans les places basses, facilement imprégné d'eau ; par suite, l'accès de l'air est intercepté et les combinaisons du fer de la couche sont désoxydées sous l'influence de la transformation des matières humiques en acide carbonique. Puis, les périodes de sécheresse qui suivent diminueront à nouveau la quantité d'eau, l'accès de l'air à travers le sol poreux sera rétabli et occasionnera des séparations d'hydrate d'oxyde de fer, qui, dans le cours des temps, par un accroissement toujours renouvelé de grumeaux et de fer limoneux, peuvent s'augmenter. Je pense que ce qu'on désigne en Allemagne sous le nom de « *Raseneisenerz* », qui se trouve dans certaines contrées en grandes masses et en dépôt de la façon décrite plus haut, est identique avec notre « *Myremalm* ».

Comme résumé de ce chapitre sur les transformations physiques et chimiques du sol, nous donnons ci-après un aperçu systématique sur les couches dures plus ou moins impénétrables aux racines des plantes,

et désignées sous le nom général d' « *Ortstein* » (Ahl), telles que, d'après ce qui précède, nous pensons qu'elles doivent être envisagées. Les formes décrites se divisent d'après leur origine, à la vérité, suivant qu'elles se sont produites par limonage (*Abschwämmung*), absorption ou concrétion, dans les trois groupes suivants :

A. — *Ortstein produit par limonage.*

CARACTÈRE.	ÉTAT.
1. *Thonortstein.* — Un mélange plus ou moins poreux, ferme et dur de sable et d'argile de couleur grisâtre, assez homogène. Le traitement par la solution alcaline ou les acides minéraux étendus ne change pas sa consistance.	Forme, dans un sol recouvert de terreau, de nature sablo-argileuse, des couches cohérentes à une distance de 8 à environ 200 centimètres de la superficie. Il se tient, même après le revêtement de la croûte terrestre, avec la tourbe et les transformations du sol qui en dérivent.
2. *Ortstein tourbeux.* — Agglomération compacte, terreuse et même dure, noir-brun, noire ou bleu-noir de charbon d'humus revêtue d'acides humiques ou d'humates et mélangée en plus ou moins grande quantité avec des grains de sable blancs, recouverts d'une couche d'ocre. Acide à cause de sa teneur en acides humiques. Traitée par une liqueur de soude, se décompose facilement en du sable blanc et du limon tourbeux amorphe en donnant une solution noire. Se décompose à l'air. (Souvent un mélange de grandes masses de fines racines de bruyères.)	Se développe en couches cohérentes sous le sol lavé, dans les landes et les forêts, sur des sols à gros grains, au plus fort dans un sol frais, humide ou mouillé ; déposé immédiatement sur l'*Humusortstein* proprement dit et séparé de celui-ci par une limite qui n'est pas nette.

B. — *Ortstein produit par absorption.*

CARACTÈRE.	ÉTAT.
3. *Humusortstein.* — Grès compact, terreux, même dur, variant du jaune-brun au noir-brun, consistant en parties de squelette du sol (particulièrement le sable quartzeux) enveloppées d'humates et d'acides humiques séparés et cimentés ensemble. Le traitement par la liqueur de soude le décompose en sable et en terre fine, avec une petite quantité de limon tourbeux amorphe, en donnant une solution noire. Seulement faiblement affecté par des acides minéraux étendus. Se décompose à l'air.	Existant toujours et partout sous forme de couche cohérente, qui suit en quelque sorte la configuration de la superficie, sous la couche supérieure lavée de la croûte terrestre (sable plombifère) dans les forêts recouvertes de tourbe et des landes, 1 à 50 centimètres au-dessous de la superficie.

CARACTÈRE.	ÉTAT.
a) *Humusortstein* ferrugineux renferme de plus grandes quantités de fer que le sous-sol sous la couche.	Déposé dans les sols sableux, très pauvres en argile, dans la partie supérieure du sous-sol.
b) *Humusortstein* pauvre en fer (terre rouge) renferme de plus petites quantités de fer que le sous-sol sous la couche.	Déposé dans les sols sableux moins pauvres en argile, dans les sols silicéo-argileux ou argilo-sableux, dans le sol à une distance différente de la superficie.
C. — *Ortstein produit par la concrétion.*	
4. *Grès ferrugineux.* — Grès compact, dur, de couleur jaune-brun, consistant en parties de squelette du sol (particulièrement du sable quartzeux) cimentées ensemble et entourées d'une enveloppe d'hydrate d'oxyde de fer (d'après Senft, d'un peu d'oxydule de fer et d'autres substances). Ne se décompose pas à l'air, ni par le traitement par la liqueur alcaline, mais bien quand on l'abandonne avec de l'acide chlorhydrique étendu, ou qu'on le traite à chaud par cet acide.	Dans la couche superficielle du sol sableux recouvert de tourbe comme aggrégats grumeleux de différente grandeur et forme. Vraisemblablement aussi de plus grandes parties cohérentes sur la place de l'*Humusortstein* dans le sol de landes humide.
5. *Fer limoneux.* — Terre poreuse, de forme semblable à une scorie, de couleur noirâtre, avec 80-95 p. 100 d'hydrate d'oxyde de fer (Senft). Rapport à l'air, l'alcali et l'acide environ égal à 4.	Masses grumeleuses, en forme de scories, dans les tourbières et les marais, enfin aussi dans le *Thonortstein,* où celui-ci apparaît près de la superficie humique et repose sur un sous-sol passablement impénétrable, aussi bien qu'en beaucoup d'autres places en partie ou temporairement isolées de l'air, notamment dans les couches du sol sableuses superficielles, influencées par les matières humiques.

Rapidité de la formation de la lande.

De quelque importance que puisse être aussi, pour la compréhension des transformations décrites dans le sol, une connaissance de la rapidité avec laquelle le changement s'accomplit en général, la solution de cette question, en tant qu'il s'agit des landes, doit rester indécise par suite du défaut de points de départ suffisamment sûrs pour le moment. En ce qui concerne la forêt de chênes, l'âge et le caractère du peuplement actuel fournissent des points d'appui

utilisables ; dans les landes, les dates correspondantes manquent Comme mes efforts, pour explorer cette question, m'ont pourtant conduit à quelques observations et peuvent avoir probablement une certaine signification pour une étude poursuivie, je communique ci-après la partie la plus importante.

Déjà Vaupell a attiré l'attention sur les étendues de landes au voisinage de Viborg comme étant tout particulièrement appropriées à l'étude du boqueteau de chênes, et ce sont ces emplacements qui ont été aussi principalement l'objet de mes recherches, notamment la région autour de Finderup, où, à l'exception des forêts de Hald, il ne reste plus des grandes étendues de forêts dans lesquelles le roi Erik Glipping chassait en l'an 1286, immédiatement avant son assassinat, que des broussailles de chênes détruites et de peu d'importance. J'espérais pouvoir trouver dans cette contrée quelques éclaircissements historiques sur la transformation de la forêt en lande, mais je réussis seulement à rassembler quelques notices éparses ; vraisemblablement les archives de Viborg renferment plus de documents sur ce sujet. Sur la carte de *Aemter Skivehuus* gravée en l'année 1800 et publiée par la Société des sciences, se trouve indiquée une grande étendue de forêts entre Stanghede et Vedhoved. De cette étendue, il ne reste dans la lande que d'insignifiantes broussailles détruites, connues sous le nom de « Falle Krat ». D'après les documents authentiques judiciaires des archives de Viborg, qui ont été examinés par le secrétaire de justice Morville, la forêt, appelée Forêt de Fallitsgaard (*Fallitsgaard-Wald*), fut vendue à l'enchère, le 26 janvier 1799, pour 1,095 thalers de la banque royale, à la maison forestière (*Waldhaus*), et, au 19 août 1799, les arbres de cette forêt, en partie comme bois d'œuvre et en partie comme bois de chauffage, furent vendus à nouveau à l'enchère et, à la vérité, comme coupe définitive dans 58 parcelles. D'après le dire des vieillards, tous les arbres de cette contrée furent abattus en peu de temps. On peut juger que la forêt était pourtant vraisemblablement tombée déjà autrefois en décadence, parce qu'en l'année 1754 une vente aux enchères publiques de 279 arbres renversés par le vent avait eu lieu. Nous avons donc ici une étendue de la lande qui ne peut pas avoir beaucoup plus de 80 ans et d'aussi loin qu'on

se souvienne, il n'existe d'ailleurs que des recherches insuffisamment étendues sur cet emplacement, et le sol a ici le caractère prépondérant d'une lande de formation récente, particulièrement ainsi que le représente la figure 3 du tableau III, bien qu'il existe par places des étendues avec une différenciation plus grande dans les couches supérieures du sol. Lors de ma visite à cet endroit en l'année 1880, se trouvaient là, à beaucoup de places, des souches de chênes bien conservées dans les broussailles, dont le diamètre atteignait souvent 1 à 2 pieds ($0^m,3138$ à $0^m,6272$). La broussaille était elle-même en général chétive et rabougrie ; beaucoup de buissons s'élevaient à peine au-dessus de la bruyère et on en voyait rarement un dont la hauteur atteignait 2 pieds ($0^m,6277$), avec un diamètre de 4-6 pieds ($1^m,255$ à $1^m,883$). Le sol n'appartient ni au plus sec ni au plus maigre des landes de cette région.

Un peu plus loin vers le N.-E., au Sud du village de Finderup, se trouve un autre bosquet intéressant, qui, autrefois, a formé aussi une partie de cette étendue de forêts, je veux dire Findskov Krat ; il n'est pas indiqué sur la carte de 1800 dont on a parlé et la forêt a aussi, selon toute apparence, disparu antérieurement, ce que démontre tout aussi bien le sol que l'absence complète de souches de chênes dans ces broussailles. Je n'ai pu trouver aucune indication précise sur l'époque à laquelle cette forêt a disparu, mais sa position entre la forêt de chênes de Hald et la forêt de Fall, qui existait encore au commencement du siècle, situées seulement à un bon demi-mille de distance l'une de l'autre, comparée avec d'autres dates, rend vraisemblable que cette forêt a été anéantie il y a 150 à 200 ans. Ici encore, il n'y a à signaler aucune formation régulière de lande, comme sur les grandes étendues de landes homogènes des régions occidentales, mais pourtant elle a progressé beaucoup plus en un grand nombre de places que dans les parties examinées du boqueteau de Fall. Comme on l'a déjà mentionné, il existe de l'excellent terreau sous les broussailles, d'ailleurs basses, de Findskov Krat ; au voisinage immédiat de celui-ci, ou bien là où elles sont réunies toutes ensemble en plus grande quantité, le sol est le même que celui des jeunes landes décrit plus haut ; mais, à d'autres places, on trouve aussi bien des régions avec de l'ancien *Ortstein*

bien développé qu'aussi d'autres avec de bon et même d'excellent terreau, toutes tapissées d'une couverture uniforme de bruyères. Ces divergences, je ne les ai vues nulle part dans les vieilles landes des contrées occidentales et je pense qu'il y a là la démonstration d'une formation de landes qui a commencé plus tard; les places où l'*Ortstein* et le sable plombifère dans cette partie de broussailles se sont développés plus vigoureusement, étaient peut-être d'anciennes places de landes dans la forêt, comme c'était encore le cas dans l'année 1880 dans le boqueteau de Tykskov, dont la croissance arbustive et le sol expliquent, d'une façon très instructive, des restes de broussailles, comme Findskov.

Ces observations modestes, vraiment trop fragmentaires, sur les restes des forêts à l'Ouest de la forêt de chênes de Hald, démontrent que la formation de sable plombifère et d'*Ortstein* sous la bruyère progresse plus lentement que dans les forêts de chênes, dont la masse de déchets annuels, beaucoup plus grande et beaucoup plus riche en acides humiques, peut provoquer une augmentation plus rapide de la puissance de la formation de tourbe. Des observations faites sur un emplacement de tout autre caractère donnent des indications dans la même direction.

Sur beaucoup de points dans la lande, la superficie montre un caractère très irrégulier; le sol apparaît comme déchiré et forme une variété complexe de petites hauteurs et vallées qui, parfois, se présentent en petit sur la surface d'ailleurs uniforme de la lande comme un pays d'Alpes sauvage ou forment une chaîne de collines droite ou demi-circulaire. Quoique le terrain soit recouvert de la même végétation uniforme que les landes ordinaires, on remarque, en partie par le caractère de la superficie, en partie par les nombreuses formes de développement, qu'il consiste en dunes couvertes d'une végétation, des formations antérieures de sable mouvant, pour lesquelles le sol de landes ordinaire a fourni le matériel. Un examen de deux parties de sables de ce genre, recouvertes de végétation, sables de Birkebäk au voisinage de Holt et sables de Klövdal dans la plantation de Högildgaard, tous deux situés dans le Kirchspiel Rind, fournit les données suivantes sur la nature du sol.

Dans le sable de Birkebäk, les parties de dunes étaient recouvertes

d'une tourbe brune meuble, épaisse de 1 à 3 pouces ($0^m,0261$ à $0^m,0784$), recouverte d'une végétation de bruyère et de camarine noire (*Empetrum nigrum*), mélangée dans le fond avec l'*Hypnum*. Dessous gisait une bande de sable plombifère épaisse de 1 pouce ($0^m,0261$), faiblement caractérisée parfois, notamment dans les abaissements du sol, de couleur d'humus, sur une couche faiblement développée, d'une puissance de 2 à 3 pouces ($0^m,0523$ à $0^m,0784$) d'*Humusortstein* poreux et terreux, qui reposait sur un amoncellement de sable de lande jaune-rouge, de caractère ordinaire. La profondeur de cette dernière couche changeait naturellement d'après la hauteur de la dune : quand on creusait assez profondément pour atteindre le niveau de l'ancienne lande, on trouvait une couche bleu noir de l'ancienne croûte de lande épaisse d'un pouce ($0^m,0261$) dans laquelle la structure des plantes avait tout à fait disparu; à 3 pouces ($0^m,0784$) au-dessous, venait du sable plombifère blanc ordinaire et, enfin, entre celui-ci et le sable de lande ordinaire, une couche assez ferme et compacte, en partie noir brun de 3 à 4 pouces ($0^m,0784$ à $0^m,1046$) d'ancien *Humusortstein*.

Les figures 6 et 7 du tableau III donnent la représentation graphique de ces formations aux places où le sable amoncelé a seulement une puissance restreinte. La figure 7 montre, à la place d'une couche de sable ferrugineux sur l'ancienne croûte de lande, une couche analogue au sable plombifère, mince et décolorée, qui, évidemment, a contenu autrefois une formation d'*Ortstein* à son début (ce qu'indique la hachure de la couche), mais, plus tard, a été dépouillée de tout son fer, probablement sous l'influence de la couche de sable de l'ancienne croûte de lande très puissante, sur la couche mince de sable. D'après les communications précédentes sur les différents modes de développement des couches de sable plombifère et d'*Ortstein*, il est admissible que la formation de ces couches dans les dunes doit avoir eu lieu vraisemblablement de la même façon que dans le sol forestier argileux et, par suite, avoir eu, depuis le commencement jusqu'à présent, une puissance restreinte.

Nous avons ici, sans aucun doute, une nouvelle formation de tourbe de sable plombifère et d'*Ortstein* dans le sable déposé sur les anciennes landes; mais les nouvelles formations n'ont pas de

beaucoup atteint un développement égal à celui des landes enfouies, quoiqu'elles soient le résultat d'un développement vraisemblablement plus que séculaire [1].

Le sable de Klövdal paraît être bien plus ancien que le sable de Birkebäk ; pourtant cette partie est tout à fait de même nature que la précédente, avec cette différence que la nouvelle formation d'*Humusortstein* et de sable plombifère, est plus nettement indiquée par places, tandis que pourtant leur développement est beaucoup moindre que celui des couches correspondantes de la vieille lande sous-jacente.

Si on coordonne ces observations, il me paraît que l'on doit compter avec des siècles si l'on veut évaluer la durée du temps nécessaire à la formation des landes renfermant un *Humusortstein* noir et sombre nettement caractérisé ; en tous cas, on ne peut, en aucune façon, mettre en doute qu'il est impossible de compter avec de plus petits chiffres à beaucoup de places du Jütland occidental. Mais pourtant l'observation ne conduirait sans doute pas à une estimation plus exacte de l'âge des landes, si l'on ne cherchait pas dans les tumuli un document de la plus grande valeur pour la solution de cette question.

Emeis a déjà, dans les *Waldbaulichen Forschungen* (Recherches forestières), fourni par le tableau VII la démonstration irréfutable que la formation de lande typique avait atteint son complet développement avec tourbe, sable plombifère et *Ortstein*, déjà au temps où les tombeaux de géants (tumuli) furent découverts, car ceux-ci sont construits sur les couches en question.

On arrive au même résultat par un examen du matériel de construction sur cette colline, qui consiste souvent en une croûte de lande avec sable plombifère, ce dont j'avais souvent l'occasion de me convaincre lors de mes promenades dans la lande. Afin d'arriver à un éclaircissement plus complet de ce rapport, je fis enlever une paire de profils dans le merveilleux tombeau oriental qui fait partie

1. Tout près de la partie des dunes habite un forgeron très âgé qui a vécu toute son existence à cette place, ainsi que son père avant lui. Il affirme que depuis le commencement du siècle aucune transformation visible de la lande n'a eu lieu dans ce terrain.

des trois tombeaux de Hjortsballe, qui se trouvent dans le Kirchspiel Rind et sont visibles à une distance de plusieurs milles dans la lande. Des deux profils, dont l'un était prélevé à une profondeur de plus de 4 pieds ($1^{m},2554$), il ressortit, indubitablement, que le tombeau, au moins jusqu'à cette profondeur, était construit de tourbe de lande complètement développée, et que les mottes de landes avaient été placées suivant la façon pratiquée aujourd'hui par les habitants des landes dans leurs terrasses, c'est-à-dire avec le côté de la terre vers le haut et la bruyère vers le bas : si bien qu'un profil, rendu lisse par l'époussetage, apparut semblable à un mur de briques dont quelques pierres d'un blanc grisâtre devenaient toujours plus noires vers le bas et qui était terminé par un bord d'une couleur sombre intense.

Le fait que le matériel de construction consiste en tourbe de lande avec un peu de sable plombifère ordinaire, se déduit des points suivants. Ce ne peut pas avoir été des herbes salines, parce que celles-ci, qui ne contiennent qu'une quantité pour cent très faible de matière organique, n'auraient pu laisser des bandes d'une coloration noire aussi intense. De plus, il ressort en partie de la coloration blanc gris de la masse terreuse et de son accord souvent très complet avec les couches dont on vient de parler dans les landes recouvertes de sable avec la tourbe et le sable plombifère (v. notamment tableau III, fig. 6), et en partie de la grande quantité de matière humique, qui ne peut provenir que d'une couche de tourbe, que cela n'a pas été non plus une terre sans tourbe ni sable plombifère recouverte d'une végétation de bruyère. Enfin, il est démontré de la façon la plus évidente que la couleur blanc gris n'a pu prendre naissance dans le cours des temps dans ces mottes de landes âgées de deux mille ans, par la disparition du fer, par ce fait que sous les champs blanc gris, il s'en trouve quelques-unes qui ont tout à fait la même couleur que le sous-sol des landes et qui proviennent sans doute d'herbes ou de plantes salines, qui sont prélevées sur une surface où aucune formation de sable plombifère n'avait commencé et que le sol d'origine porta immédiatement la végétation. De telles plantes ne peuvent plus certainement se rencontrer dans les landes où se trouvent les tombeaux de Hjortsballe, et elles témoignent, à

cause de cela, en partie que tout le terrain qui entoure les tombeaux en question, a eu dans l'antiquité le même caractère que maintenant, en partie que les bruyères ou les herbes salines exemptes de sable plombifère ne peuvent pas prendre dans de telles conditions, au cours des siècles, l'aspect de la tourbe de lande réelle avec un côté de terre renfermant du sable plombifère.

Dans notre littérature archéologique se trouvent des annotations très différentes, sur ce fait qu'aussi bien les tombeaux de l'âge de bronze que ceux de l'âge de fer sont construits avec des mottes de landes, et, d'après cela, il est vraisemblable de penser que c'est le même matériel qui a été employé pour les tombeaux de Hjortsballe. Cela est le cas, par exemple, pour les célèbres tombeaux de Gorm[1] et, probablement, aussi de Borum Eshöi[2], Lille Drags Höi[3], Muldbjerget[4] et d'autres, qui, tous, reposent dans les contrées de landes du Jütland ou sur des places où la lande a pu exister, tandis que les tumuli dans les bonnes régions, principalement sur les îles, sont bâtis de terre ou de pierres, ou bien d'un matériel tout autre, que ne concernent pas nos recherches.

D'après cela, il me semble solidement établi, si l'on veut arriver à une compréhension du développement de sable plombifère et d'*Ortstein,* qui accompagne la formation de landes, qu'on doit tenir compte de la façon dont s'accomplit ce développement non seulement de notre temps, mais aussi de la façon dont s'est accompli celui qui s'étend vraisemblablement pendant des siècles loin dans la nuit des temps, et qui doit être envisagé comme un état caractéristique du sol pour les landes actuelles et qu'il s'effectue avec une rapidité très différente suivant la nature de l'emplacement et de la végétation prédominante, selon toute vraisemblance beaucoup plus rapidement dans les forêts que dans les landes.

---

1. Kornerup, *Kongehöiene i Jellinge,* Kbhn, 1875, p. 16.
2. Voyez Boye, *Samlinger til jydsk Historie og Typographie,* T. VI, Aalberg, p. 220.
3. *Loco citato,* p. 218.
4. Communication verbale du Dr Petersen.

Coup d'œil rétrospectif (Rückblick).

Nos études sur les sols naturels dans les forêts de hêtres, de chênes et dans les landes, aussi bien que les observations d'ailleurs un peu restreintes sur l'état du sol sous les différents groupes de végétation mettent en pleine lumière la puissante influence qu'exerce la vie organique sur la nature de la localité par l'état dans lequel sont amoncelées des masses de déchets organiques et transformées dans le sol. Nous voulons maintenant chercher à rassembler toute la série des observations faites dans un coup d'œil général sur les phénomènes examinés et leur signification.

Différences des couches de terre humique. — On arrive de plus en plus dans les temps modernes à reconnaître que l'ancienne théorie de la décomposition des restes organiques morts, considérée comme un simple phénomène chimique, une combustion avec formation d'acide carbonique, d'eau et d'ammoniaque comme résultat final de la transformation est exclusive, et l'on sait que les observations inaugurées par la magistrale découverte de Pasteur ont modifié notre façon d'interpréter le processus de putréfaction. Il semble cependant que les recherches relatives au vaste processus de décomposition, que nous désignerons par le terme : humification des matières apportées chaque année au sol par le monde organique, n'ont pas été assez approfondies. Il y a lieu d'attendre que l'étude de la relation de cette décomposition avec les organismes *humificateurs* tracera la voie à une nouvelle interprétation importante de ce processus. La belle découverte faite par Schlœsing et Müntz du microbe nitrifiant donne une idée de ce qu'on peut attendre dans cette voie : il semble cependant que nous manquons encore d'une base d'observations fondamentales sur les conditions naturelles des diverses formes d'humus, pour nous guider dans l'étude de ces difficiles problèmes. Il faut d'abord connaître le premier terme de cette transformation. L'action des organismes inférieurs, la loupe et le

---

1. Voir, par exemple, Tuxen, *Nyere Undersögelser over Salpeterdannelsen i Jordbunden* (*Tidsskr. f. Landökonomi.* R. V. T. II, p. 201).

microscope doivent indiquer d'abord les traits plus bruts, avant que l'on se risque à une recherche de ce qui est presque invisible. Les observations communiquées me semblent pouvoir servir d'introduction à cette notion élémentaire.

Les masses de déchets organiques annuelles peuvent se déposer sur un sol sec dans une série extraordinairement grande de formes, qui, pourtant, se décomposent en plusieurs groupes principaux correspondant aux dépôts organiques indiqués par von Post dans l'eau douce. L'un de ces types, le terreau (*Mull*), peut être appelé humus koprogène (*koprogener Humus*), parce qu'il consiste principalement en excréments animaux, tandis que l'autre, la tourbe (*Torf*), doit être désigné comme humus végétal (*vegetabilischer Humus*), parce qu'il est formé principalement de restes de plantes indécomposés[1]. La concordance entre cette tourbe et la tourbe de marais (*Moortorf*) est telle que ces deux formations doivent être considérées comme parfaitement analogues et nous avons vu comment toutes deux peuvent dans les emplacements appropriés (forêt de Windum) se transformer peu à peu l'une dans l'autre. Le trait principal de leur développement est la circonstance que la vie animale qui forme la tourbe est exclue de l'emplacement ; il est, au contraire, d'une importance secondaire que la faute en soit à une grande humidité, une grande sécheresse ou d'autres causes. Cela ne donne à la couche, au point de vue principal, un caractère différent qu'autant que les déchets des différentes formes de végétation influent sur sa composition ; dans tous les cas, on peut l'appeler tourbe (*Torf*) avec plein droit.

---

1. Darwin a trouvé, en l'année 1837, que l'expression « animal mould » caractérisait le mieux la formation désignée par von Post sous le nom de « Koprogène ». Plus tard il n'a pas maintenu cette désignation, et comme il a à peine connu l'humus végétal, mais employé l'expression de « vegetable mould » pour désigner les couches koprogènes, il me semble qu'on doive à von Post d'accepter sa terminologie, parce que celle-ci repose sur une conception plus claire de l'origine dissemblable des différents dépôts organiques. Cet auteur compte aussi, à la vérité, ce qui me semble être assez incorrect, la tourbe parmi les formations koprogènes, parce que celle-ci renferme ordinairement une quantité d'excréments animaux. Je maintiens que sa teneur caractéristique en une grande quantité de végétaux non décomposés, qui forment chez quelques sortes de tourbe la partie tout à fait prépondérante de la masse, engage à opposer la tourbe comme une formation de nature principalement végétale aux gisements purement koprogènes.

La définition donnée par v. Post[1] de la tourbe pour la différencier des autres dépôts organiques dans nos eaux douces peut être employée mot pour mot pour la tourbe spéciale dont on parle ici sous le nom de « Torf » (tourbe), et les recherches communiquées expliquent seulement d'après cela la présence d'une série de masses de déchets sur le sec tout à fait analogues avec les formations d'eau douce indiquées par l'auteur en question.

Il est dans la nature des choses qu'entre l'humus végétal typique et l'humus koprogène, il se trouve une série interminable de formes de transition, car il y a bien peu de couches d'origine végétale qui n'aient pas été mélangées aussi bien avec des masses importantes de restes animaux et, d'autre part, tout humus koprogène est, en tous cas, dans ses plus jeunes stades, mélangé avec des amoncellements de plantes non décomposés; mais les types peuvent pourtant se distinguer aussi bien que d'autres types dans la nature.

Il est à peine nécessaire d'insister principalement sur le fait que les gisements d'humus végétaux, que nous avons désignés sous le nom de tourbe (*Torf*) empruntent à un haut degré leur caractère à la végétation, dont les déchets forment leur substance, et cela ressort suffisamment d'ailleurs des observations dont on a parlé plus haut sur la tourbe dans les forêts de chênes, les forêts de hêtres, les landes, les prairies salées, etc. La puissance, la structure et la fermeté des couches de tourbes, aussi bien que leur influence sur le sol sous-jacent seront d'après cela influencées à un haut degré par la nature particulière des masses de déchets chez chaque forme de végétation. Mais on doit surtout remarquer, en partie que certains emplacements forment principalement des places de gisement pour les tourbes, en partie que des formes de végétation différentes ont une aptitude différente à produire l'humus végétal, en partie enfin que celui-ci peut être déposé sous des formes de végétation très différentes, sans, d'autre part, être l'unique forme d'humus pour chaque végétation ou chaque emplacement quelconque. On est d'après cela autorisé à conclure que la formation de l'humus végétal dépend d'un autre facteur, qui n'est pas nécessairement lié à

1. *Passim*, p. 26 et suiv.

l'emplacement ou à la végétation, et relativement aux observations communiquées, on doit, ce me semble, admettre avec plein droit, que la présence ou l'absence d'une vie animale est la cause qui, dans la plupart des cas, conditionne le développement du premier membre dans la décomposition des masses de déchets organiques. D'après cela, la condition nécessaire pour la formation de l'humus végétal est une condition négative, c'est-à-dire que c'est l'absence ou un développement trop misérable des groupes d'animaux, qui provoque l'humification à d'autres places. Cela apparaît peut-être de la façon la plus claire dans les forêts de chênes sur sols sableux. Ici, la végétation favorise seulement à un degré restreint la formation de tourbe, qui, à cause de cela, se développe sporadiquement et est composée de l'ensemble des masses de déchets du monde organique, ce qui fait que la végétation elle-même ne livre directement aucun matériel très essentiel.

Les dépôts koprogènes reçoivent leur caractère en partie de l'état des masses de déchets organiques, en partie de l'activité de la vie animale présente, ou bien de la façon dont la faune terrestre exécute l'œuvre de destruction qui produit l'humification. Comme une innombrable quantité des animaux articulés des classes des insectes, aranées (*Araneen*), myriapodes et crustacés, apparaissent pour ainsi dire partout en troupes, partiellement dans les parties de la végétation qui se trouvent au-dessus de la terre, aussi bien dans les cimes des arbres qu'aux sommets des bruyères, partiellement sur la superficie et dans les couches superficielles de la terre, les excréments des animaux articulés ne manqueront donc dans aucun dépôt humique et notre analyse microscopique a donné une démonstration générale de ce fait. Seulement, le fait que la couche d'humus doit emprunter son caractère réel aux excréments d'arthropodes, dépend de différentes circonstances. Sur l'un des côtés, les déchets végétaux peuvent, à vrai dire, être amenés annuellement en une telle quantité et avoir un caractère tel que la population d'arthropodes de l'emplacement ne peut pas consommer toute la masse, ou sur l'autre elle ne trouve pas une nourriture suffisante pour son complet développement. C'est le cas pour la tourbe de hêtres sur la haute crête montagneuse, constamment balayée par le vent, pour la

tourbe d'épicéas avec ses aiguilles raides, sèches et riches en matières chevelues et pour la tourbe de bruyère avec ses déchets insuffisants, qu'une vie animale extraordinairement misérable ne peut pas complètement transformer ; mais à cela s'ajoute encore que le système de racinés superficiel de la végétation prépondérante contribue à un haut degré à l'augmentation des éléments non décomposés de la masse, si bien que celle-ci, malgré son mélange avec des éléments koprogènes, prend pourtant le caractère d'humus végétal. Mais où, d'autre part, les conditions qui produisent ce résultat ne prédominent pas si fortement, ce sont alors les excréments d'arthropodes qui font la plus grande partie de la masse. Ainsi sont les formations de tourbe dans les jeunes forêts de perches de massifs de hêtres élevés en futaies pleines, moins poreuses à cause de la plus grande quantité d'excréments d'insectes que dans les forêts de hêtres éclaircies avec de vieux arbres et dans les groupes de jeunes semis de hêtres de 20 à 30 ans, la masse peut prendre le caractère d'un terreau d'insectes pur. Cela peut aussi, comme nous l'avons vu, être le cas d'une forêt de chênes de croissance défectueuse, dont la masse de déchets est plus petite que celle de la forêt de hêtres, et dont le système de racines contribue seulement à un degré restreint à la masse de la couche d'humus.

Quoique ainsi le monde des arthropodes joue dans la première destruction des déchets organiques un rôle considérable, les couches d'humus koprogène, qui sont formées à un degré tout à fait prépondérant par ces classes d'animaux, n'existent pourtant que dans un cercle relativement restreint et assez sporadiquement. Cela est évidemment dû à ce que le développement de ces formations est limité d'un autre côté par un troisième facteur, le travail accompli par les vers de terre. Il semble, à vrai dire, que ce soit un cas exceptionnel quand les conditions locales, favorables au développement de l'humus d'arthropodes, ne favorisent pas en même temps le travail des vers de terre, qui poursuivent rapidement l'œuvre d'échange entreprise par les insectes et empêchent la formation de plus grands amoncellements d'excréments d'arthropodes.

De tous les gisements humiques koprogènes, celui qui s'étend au plus loin sur le sec est par suite le terreau formé par les vers de

terre. Si l'on fait abstraction de l'humus d'arthropodes à peu près pur, moins répandu et qui n'existe que sporadiquement et que l'on considère les phénomènes dans leurs traits principaux, on peut alors dire que l'humus végétal dans ses différentes formes et le terreau formé par les vers de terre se partagent entre eux le terrain occupé par le sol naturel.

Ce qui montre que ce terreau doit être envisagé comme une formation réellement koprogène, c'est d'abord sa structure et, de plus, notre connaissance du mode d'existence des vers de terre. La couche superficielle du terreau, formée en dernier lieu, consiste incontestablement en excréments de vers de terre, ce que montre un simple examen à l'œil et qui de plus est renforcé par l'observation que la grandeur et l'état des grains de la superficie changent, suivant les espèces de vers de terre prépondérantes dans l'emplacement. Ainsi, nous avons trouvé une structure graveleuse fine dans le Skarrild Krat, où seul habite le *Lumbricus purpureus,* et une structure graveleuse grossière dans le Tykskov Krat, où vit en même temps le *Lumbricus rubellus,* quoique le sol consiste aux deux places en sable de lande très maigre et sec. Deuxièmement, il n'est encore jamais arrivé d'indiquer une autre cause naturelle de l'état de mélange particulier du sol dont a parlé, avec sa consistance restreinte caractéristique, ou, suivant la désignation adoptée ordinairement, sa parfaite porosité, comme résultant de la digestion des vers de terre et de leur fouillage ininterrompu de la terre. Le mélange produit par l'eau a un tout autre caractère et est facile à distinguer de celui produit par les vers de terre, qui, comme on l'a dit d'une façon détaillée dans la première partie de ce travail, est le moment le plus important de son activité à former la tourbe. Troisièmement enfin, les couches de terre humique ne prennent jamais le caractère du terreau poreux, là où le ver de terre manque ; enfin, on trouve là soit de l'humus d'arthropodes, soit de l'humus végétal. Comme complément à ce dernier point, je pourrais ajouter que j'ai trouvé partout des vers de terre, dans les emplacements les plus différents, où existe du terreau typique. Cette observation n'exclut pas toutefois — comme expérience de pensée pure (*Gedankexperiment*) — l'explication donnée par d'autres (dont on parlera plus

loin), que les vers de terre sont seulement les habitants et non pas les producteurs de cette forme d'humus ; mais, conjointement avec les trois moments précédents, ce quatrième sera une démonstration de la plus grande valeur pour la justesse de notre conclusion.

Quoiqu'il me paraisse indubitable que le terreau poreux doive être envisagé comme une couche koprogène, qui est redevable de son caractère principalement aux vers de terre, on ne doit cependant pas cacher qu'il n'est jamais arrivé, pas plus à moi qu'à un autre, de résoudre toutes les questions ayant rapport au sujet traité ici, et notamment la question de savoir si tout le sous-sol ou seulement une partie de celui-ci a passé par l'intestin des vers de terre, par conséquent doit être compté comme appartenant aux formations koprogènes, n'a pas encore été éclaircie. Nous reviendrons plus tard sur cette question. Si notre conception est juste dans son entier, alors une relation déterminée entre l'existence des deux types d'humus et les circonstances qui doivent conditionner et favoriser l'extension locale des vers de terre, doit s'indiquer. Quoique notre connaissance du dernier point soit encore très défectueuse, nos observations donneront pourtant des indications qui confirment l'ensemble de notre interprétation.

Il semble qu'aucun sol de notre pays portant une végétation, — à l'exception du terrain marécageux et des dunes de sable sèches, — soit inhabitable pour les vers de terre, car ces derniers existent, ainsi que nous l'avons montré, sur les emplacements les plus différents, depuis les sols limoneux humides et les marais tourbeux jusqu'aux buttes de sable élevées, riches et maigres du Jütland. Mais leur masse devient plus grande et leur travail plus intense partout où le sol est ombragé par la forêt et la broussaille ou recouvert d'une riche végétation de bruyères et où l'emplacement est plus protégé. D'un autre côté, une limitation de l'ombragement et de la protection chasse rapidement et complètement la population des vers de terre, suivant le degré auquel l'emplacement est, suivant sa nature, exposé au desséchement et à l'échauffement. Du sol sableux, des crêtes montagneuses exposées au vent, des versants du Sud ensoleillés, de croissance végétale misérable, des superficies de

terre sombres, qui favorisent l'échauffement du sol sous l'action puissante du soleil, tout cela restreint, d'après les expériences acquises, la quantité des vers de terre ou limite leur existence. Ces mêmes conditions favorisent la formation de la tourbe, et les observations sur l'existence des vers de terre concordent parfaitement avec ce que l'on sait de la prédilection de ces animaux pour l'ombre, l'abri contre le mauvais temps et l'humidité du sol ; la sécheresse et la lumière directe du soleil les tuent rapidement. Pour les landes, s'ajoute peut-être encore à cela le rude climat nocturne avec le fort rayonnement, qui fait que pas un mois de l'année dans ces régions n'est exempt de gelée, ce qui doit être particulièrement important pour des animaux nocturnes à peau tendre comme les vers de terre. Les parties occidentales des forêts de chênes sur sol sableux tombées en décadence, où la forêt avec sa végétation s'est transformée en broussailles de chênes avec des espaces intermédiaires couverts de bruyères, semblent offrir un des exemples les plus instructifs du rapport des vers de terre avec l'écran et l'ombragement. Le taillis isolé de chênes avec sa ramure noueuse et son dais épais de feuillage protecteur offre une localité qui, avec des conditions changées, correspond aussi près que possible à la forêt de chênes avec son bosquet riche en fleurs et c'est pour cela que les vers de terre se retirent dans ces restes, quand leur demeure d'origine, la forêt, tombe en ruines, ce qui permet l'accès libre du soleil et du vent. D'après toute la série des observations, on est donc en droit de conclure que le principe, fondé sur l'expérience, extrêmement ancien en sylviculture, que tout ce qui sert à ombrager et à protéger le sol, favorise sa porosité et sa fertilité, n'a de signification qu'autant que cette condition rend l'emplacement habitable pour les vers de terre.

Mais, en dehors de la nature de l'emplacement, la nature de la végétation semble aussi avoir une influence sur l'existence de ces animaux. Ils sont présents en plus grande quantité sous une végétation de plantes éricinées et disparaissent là plus lentement que sous une couverture composée presque exclusivement d'espèces ligniformes, il semble que le phénomène suivant se manifeste en même temps dans la forêt : la végétation éricinée du sol de l'essence de

lumière donne asile à un plus grand nombre de vers de terre que les massifs d'essences d'ombre. Les peuplements de chênes, de pins sylvestres et de bois tendres (notamment les trembles et les sorbiers des oiseleurs qui ont la vie dure, qui sont dans les forêts de chênes des contrées sableuses des essences de mélange si importantes), des prairies et des champs d'herbes sont en moyenne plus fortement peuplés par ces animaux que les forêts de hêtres, les forêts d'épicéas et les landes de bruyères. Quant à la question de savoir si cela est en relation avec la prédilection des vers pour certaines sortes de nourriture, ou si c'est seulement l'influence de la dernière forme de végétation nommée sur le degré d'humidité du sol en vertu de son système de racines superficiel qui est la cause de cette différence, elle doit provisoirement rester indécise, mais il est établi aussi fermement que ces groupes de végétation perdent fréquemment leurs habitants terrestres et sont des plus aptes à former la tourbe.

Influence des formes d'humus sur les sols. — Aux formes principales, typiques des gisements humiques correspondent si généralement certains états caractéristiques dans le sol immédiatement sous-jacent, qu'on doit considérer celles-ci soit comme des actions de causes communes, ou placer les dernières en relation avec les premières, comme l'action avec la cause. Sous certains rapports, ces deux considérations sont justifiées.

Sous le terreau poreux, habité par les vers de terre, se trouve le *Thonortstein* décrit plus haut, dont, à la vérité, le développement n'est pas partout homogène, mais qui pourtant dans un sol argileux est extraordinairement fréquent et très étendu. Cette couche ne doit pas, à la vérité, sa structure et sa fermeté directement à la forme d'humus, parce que, sans aucun doute, elle est produite dans le sol par un transport de l'eau, mais le lien entre ses places de gisement et les facteurs qui ont produit la couche sus-jacente de terreau est d'autant plus étroit. Car, seulement la circonstance que les masses de terre en forme de terreau déposées sur le *Thonortstein* ont empêché l'affaissement en une couche compacte dans laquelle l'action de limonage (*Schämmungsakl*) de l'eau doit boucher les pores et cimenter les fentes, rend possible que cette activité puisse laisser

derrière elle des traces dans la couche superficielle du sous-sol dans la formation du *Thonortstein*. Nous ne connaissons jusqu'ici que le ver de terre comme pareil facteur ameublissant et nous avons vu que là où celui-ci disparaît du sol limoneux, la couche superficielle de ce sol est tout aussi dure et ferme que le *Thonortstein* (*Telgstrupper Gehege*). Ce doit donc être l'action des vers de terre qui fait que la couche entière du sol gisant sur le *Thonortstein* se laisse facilement détruire au creusement, comme de la fine terre de jardin travaillée, où les outils ne donnent pas de grumeaux, que ce soit enfin les racines des plantes qui cimentent les particules de terre ou une grande quantité d'argile qui rende le sol limoneux et c'est aussi l'étendue du travail des vers de terre, la puissance de la couche koprogène qui en résulte, qui détermine la place du *Thonortstein* et avec cela en partie la profondeur du terrain.

Malheureusement, le défaut d'une connaissance suffisante du mode d'existence des vers ne permet pas d'établir cette loi avec la même certitude que la plupart des autres résultats, que nous pensons pouvoir déduire de nos observations. Si l'on veut suivre la conception de Darwin, ce que l'auteur n'est pas, à franchement parler, en état de faire, alors on doit aller de toute la couche supérieure du sol sur le *Thonortstein*, que Darwin ne connaît d'ailleurs pas, jusqu'à la superficie produite par les vers de terre et par conséquent à travers le canal intestinal de ces animaux, par quoi cette couche serait une couche koprogène dans le sens le plus strict du mot. Mais si l'on pense pouvoir aussi continuer à interpréter les nombreux faits qui parlent contre et sur lesquels nous reviendrons plus tard, alors pourtant l'observation directe de l'activité des vers, de pair avec les observations sur la structure de la couche, montre qu'elle a pris naissance sous la puissante influence de la population des vers, qui s'exerce sans relâche, et conservé ses propriétés typiques. Je ne mets pas en doute, à cause de cela, que la loi en question soit juste en général et que des études poursuivies sur le mode d'existence des espèces de vers prises en particulier, éclaireront les points obscurs, à la compréhension desquelles on doit arriver, avant qu'une démonstration absolue de la justesse de nos conclusions puisse être donnée.

Nous pouvons avec une plus grande confiance, dans ce coup d'œil rétrospectif, coordonner nos observations sur l'influence qu'ont les couches de tourbe sur le sol sous-jacent et formuler des conclusions certaines. Là où les couches du sol des formations glaciaires, qui forment la partie tout à fait prépondérante de notre pays, par l'activité de limonage de l'eau ont été en partie dépouillées de leur argile et par cela en même temps de leurs bases minérales, principalement du fer, ou bien là où il y a eu un enlèvement par lavage de cette matière dans les sols très pauvres en argile comme les sols de landes, la couche de tourbe filiforme et riche en acides humiques occasionne partout la formation de sable plombifère et d'*Ortstein*. Ce processus peut, à la vérité, suivant la nature de la tourbe et la richesse originelle du sol, prendre un cours très différent ; mais il ne fait jamais défaut soit dans les cas où le sol est particulièrement riche en matières inorganiques, qui peuvent diminuer la formation du sable plombifère, comme, par exemple, là où les éléments de la formation crétacée sont fortement mélangés, soit dans le cas où cette formation est argileuse et repose immédiatement sur le granit qui peut fournir aux acides humiques un nouveau supplément de matières cimentantes.

Nous voyons d'après cela que la vie organique, par les formes dans lesquelles s'accomplit l'humification, a une signification prépondérante pour la nature de la croûte terrestre recouverte de végétation dans l'état naturel, et on peut la considérer comme un important témoignage de cette conclusion à laquelle la recherche conduit en toute certitude, que tous les procédés contribuant à la formation de l'*Humusortstein* peuvent être attribués à ce changement dans la consistance du sol et du dépôt des matières humiques, qui doit être une suite naturelle de l'arrêt du travail de fouillement et de mélange des vers de terre.

Effet rétroactif des formes d'humus sur la végétation. — Si l'on dirige son regard sur le caractère que les différents gisements humiques donnent avec leurs divergences variées à la végétation de l'emplacement, son influence acquiert une signification extraordinairement élevée au point de vue de la géographie végétale, de l'agriculture et de l'économie.

Dans la première partie de ce travail, on a appelé l'attention sur la végétation différente que porte le sol de tourbe et de terreau dans les forêts de hêtres, dans les vieilles forêts de chênes sur sol sableux. On constate plus loin une différence importante, caractérisée surtout par ce fait que la flore vraiment magnifique du terreau se réduit sur la tourbe à une végétation consistant en un petit nombre d'espèces de plantes dont les formes pourtant ne paraissent pas aussi complètement exclues du sol de terreau de ces forêts que la flore de la tourbe des parties en forme de terreau du meilleur sol.

Dans la lande, les plantes éricacées sont aussi différentes sur les deux formes d'humus et enfin, nous pouvons encore rappeler le changement des flores sur les prairies salées. Mais cette influence entière prend un caractère beaucoup plus grandiose, si notre attention se porte sur les plantes vivaces, notamment les arbres. Le sol recouvert de tourbe est tout à fait défavorable à la plupart des arbres, si le rapport relativement à tous les arbres ou à toutes les différentes formes du type de tourbe n'est pas aussi tout à fait le même. Mais la régénération est beaucoup plus difficile sur la tourbe que sur le terreau ; les bois feuillus réussissent au plus mal là où la première forme d'humus prédomine et notamment, il semble que cette essence, dont les déchets recouvrent le sol à l'état d'humus végétal et dont les racines mêmes forment un tissu à travers la couche, ait ordinairement à combattre contre des difficultés insurmontables relativement au rajeunissement naturel. Mais, en même temps, comme on se le rappelle, la formation de tourbe exerce une très grande influence sur la forêt déjà vieille, en voie de croissance, dont les arbres ont un feuillage mince et des cimes desséchées, et quand il s'ajoute à cela d'autres circonstances malfaisantes comme un climat rude et des champignons parasites, elles périssent rapidement et abandonnent le champ aux différents représentants de la famille des éricacées, qui sont les principaux habitants parmi le monde végétal sur le sol revêtu de tourbe.

Un passage d'un sol en forme de terreau à un sol tourbeux a pour cela la même signification, avec un changement complet de la végétation prédominante et à la vérité, aussi bien de la végétation

de bruyères que de la végétation arbustive. Dans la forêt, le passage entraîne ordinairement avec lui un changement nécessaire dans l'essence, quand la forêt ne disparaît pas tout à fait, comme c'est le plus souvent le cas là où, dans notre pays, la nature reste abandonnée à elle-même, la formation de lande est le résultat final des transformations qui ont eu lieu dans le sol, qui toutes peuvent être ramenées à des changements dans l'état des gisements humiques.

Formation de landes. — D'après la conception exprimée plus haut, la formation de landes n'apparaît pas comme un phénomène isolé, mais elle doit être envisagée comme un membre unique, en aucune façon essentiellement particulier dans toute la série des formes, qui permet l'action d'échange réciproque entre le monde organique et le sol. Cela apparaît aussitôt que nous renonçons à la signification purement populaire ou géographique du terme *Haide* (lande ou brande) envisagée comme un pays désert, sans arbres, inculte et portant une végétation de bruyères, et que nous cherchons une définition de cette expression au point de vue géognostique et de la géographie végétale.

Sous le rapport de la géographie végétale, on pourrait peut-être trouver au premier coup d'œil une désignation caractéristique pour la lande avec l'absence complète de végétation arbustive et la végétation de bruyères homogène. Il ressort d'un examen plus exact que ces indices ne représentent pourtant pas un moment d'une signification essentielle dans les particularités de l'emplacement. Premièrement, on sait que la bruyère prédomine parfois sur un terrain, qui ne peut pas du tout être appelé lande proprement dite (*eigentliche Haide*), comme, par exemple, les parties sèches des tourbières. Mais, deuxièmement, d'après cette définition la lande devrait comprendre aussi les contrées, en forme de terreau, dépourvues d'arbres, recouvertes de bruyères, dont le caractère de landes est tout à fait prépondérant, ou pourtant peut-être aussi parce que la végétation arbustive en est bannie provisoirement par une réunion particulière de circonstances. Sur de tels espaces de landes, la forêt a pu conquérir à nouveau le sol, aussitôt qu'il est enclos et assuré contre un traitement imprévoyant. Nous avons vu que le sylvicul-

teur habile ne rencontre en de telles places aucune difficulté et la forêt peut s'étendre, même ici dans notre pays, aux frais de la lande (*Bornholms Almende*). Nous avons cependant dans le Danemark rarement l'occasion de remarquer cette invasion des essences forestières dans la lande, parce que la plupart des parties de landes en forme de terreau pendant la dernière génération ont été cultivées ; mais de grandes étendues du Jütland central ont appartenu à cette catégorie, sur lesquelles les premiers pionniers de la forêt, les trembles, les bouleaux et les pins sylvestres, conquirent peu à peu le terrain, quand ils furent entourés d'une haie : j'ai eu l'occasion, dans les régions forestières de l'étranger, d'observer ce phénomène. La différence que nous avons remarquée dans la lande en forme de terreau et recouverte de tourbe entre les plantes du sol peu apparentes, à moitié cachées sous les deux couvertures de bruyères communes, peut caractériser ainsi de grandes différences entre deux contrées, comme emplacements au point de vue de la géographie végétale.

Sous le rapport géognostique, la formation d'*Ortstein* est le moment déterminant, et nous pouvons — d'après la conception de l'histoire du développement de l'*Ortstein* qui ressort de nos recherches — y ajouter la formation de tourbe et de sable plombifère, inséparable de l'*Humusortstein*. Mais, à la suite de nos observations faites dans les forêts, ces gisements ne peuvent pas du tout être considérés comme lande proprement dite, parce qu'il existe des formations tout à fait analogues à un grand nombre d'autres places que dans les contrées de landes, notamment dans les forêts de hêtres.

La lande doit, considérée au point de vue géognostique, être envisagée comme une des formes que prend le sol naturel, là où la vie organique donne lieu à un dépôt d'humus végétal. C'est à ce point qu'on doit attacher l'importance principale, comme étant à nos yeux la cause particulière de la différenciation caractéristique de la formation de landes dans la couche supérieure du sol. A ce point de vue, la forme de la végétation, bruyère ou forêt, etc., donne seulement une variété de sous-ordre du type principal. Mais comme, ainsi que nous l'avons vu, le caractère du premier membre de l'hu-

mification dépend principalement des facteurs qui préparent le procédé de destruction et si, à la vérité, celui-ci est exécuté essentiellement seulement par des champignons saprophytes, ou de préférence par des animaux, et de plus si ce sont les vers de terre qui effectuent le mélange ou seulement les formes d'arthropodes destructrices qui accomplissent ce travail, alors la formation de la lande est en tous cas essentiellement l'expression de l'influence exercée sur le sol même par les organismes peu apparents qui vivent dans la croûte terrestre et elle devient ainsi un membre dans la grande série de circonstances qui produisent ces organismes de la terre dans le sol naturel : *La formation de lande est un produit de la vie organique.* Cette conception ne me paraît pas expliquer seulement l'état actuel du sol de la lande, mais aussi l'histoire du développement de la lande.

Nous répétons à nouveau qu'il est reconnu que les landes jütlandaises ont pris naissance aux frais des forêts de chênes de ce pays, et nous avons donné d'innombrables preuves du fait que celles-ci ont, dans chaque cas, recouvert des étendues très considérables des contrées de landes aujourd'hui nues. D'après cela, l'histoire de la lande est en partie une histoire de la forêt de chênes et c'est la reconnaissance de ce fait qui a engagé l'auteur à étudier la formation de landes juste dans le peu de restes existant encore de cette végétation disparue pour la plus grande partie.

Il est indéniable que la disparition de l'ancien peuplement de chênes dans les régions sableuses du Jütland est due à plusieurs causes. Le vent d'Ouest joue pour cela un rôle prépondérant et nos recherches, décrites plus haut, sur l'état de la forêt de chênes de Hald au côté ouest, montrent suffisamment comment et avec quelle force le vent d'Ouest tue les chênes. A cela s'ajoute le phénomène bien connu, qu'il existe encore dans les parties élevées du Jütland central d'importants restes de forêts sur le penchant exposé à l'Est, tandis que le côté ouest est nu, ce qui peut souvent offrir à celui qui contemple un paysage jütlandais, dans ses traits grandioses, une image de l'influence du vent d'Ouest sur le peuplement forestier. Si l'on ajoute encore à cela les nombreux témoignages des coupes imprévoyantes de la forêt dans ces régions dues au grand dévelop-

pement de l'industrie du fer[1] au moyen âge dans le Jütland central et à la grande consommation du bois qu'elle nécessitait, si l'on pense enfin aux innombrables incendies de forêts, qui encore, de mémoire d'homme, ont dévasté les étendues forestières du Jütland occidental[2] et détruit à une époque plus récente les forêts dans tout Harden[3], on comprendra alors facilement que les peuplements de chênes, en général assez pauvres en tiges, ont disparu dans le cours des temps.

Seulement l'exploitation ou la destruction des arbres d'une forêt n'a pas absolument la même signification que l'anéantissement de la forêt même. Là où le sol n'éprouve pas en même temps un changement, un jeune repeuplement naturel germera à nouveau et il se formera une nouvelle forêt, même s'il existe un fourré suffisant; l'immigration de la bruyère sur le terrain dénudé n'aura pas inévitablement pour suite la disparition de la forêt, mais elle peut donner lieu à une prise de possession de la surface par d'autres essences. Pas une fois, à mon avis, le vent d'Ouest si redouté ne pourra amener la disparition complète de la forêt, car son action sur des arbres qui ont poussé en massifs élevés en futaie pleine (*geschlossene Trupp*), se fait sentir même sur des places non protégées, seulement à la limite extérieure occidentale de l'emplacement, tandis que son influence sur la forme et la hauteur des arbres, déjà à une distance de 400-600 pieds (125^{m},50-188^{m},31) de cette limite, a complètement disparu[4]. Tandis que les conditions dont on vient de parler ont détruit la végétation arbustive, la forêt doit même, par la transformation du sol qui s'y rattache, être conduite à la ruine, dont nous pensons avoir retrouvé les traits prin-

---

1. C. Nyrop, *Dansk Jern* (*Histor. Tidsskr.*, R. IV. T. VI, 1877-1878, p. 125-162.

2. Le Dr Poulsen, propriétaire du *Linaa Versterskov,* près Silkeborg, m'a communiqué que cette forêt avait été, dans la dernière génération, ravagée quatre fois par de grands incendies et chacun d'eux a transformé une étendue de forêts en lande.

3. Voyez, par exemple, Bergsöe, *Den Danske Stats Statistik.* T. II, Kbhn, 1847, p. 203.

4. D'après des mesurages faits dans la forêt de chênes appartenant au Bien Estrup (*Gute Estrup*), qui se tient sur de bon sol, mais est très exposé au vent d'Ouest, et se trouve environ au milieu, entre Kolding et Esbjerg, contrée où il est la haute futaie occidentale proprement dite.

cipaux dans la forêt de chênes de Hald et dont les différents stades ont laissé leurs traces dans beaucoup de broussailles de chênes encore présentes dans la lande. Nos observations nous autorisent à conclure que la destruction de la végétation arbustive influençait la faune terrestre de telle façon que par cela le caractère de l'humification a subi un changement; les vers de terre ont disparu et le terreau formé par ces animaux ne contient pas d'humus tourbeux, qui alors serait la source de l'autre état si caractéristique au sol de la lande.

Enfin, il ressort des observations communiquées, que l'histoire de la formation de lande comprend des milliers d'années; déjà au temps de l'âge de bronze, il y avait des landes dans le Jütland, peut-être aussi beaucoup plus tôt, et si seulement on pense que toute la formation s'étend durant de très longues périodes, on comprendra comment un processus de développement en général aussi lent a pu si complètement transformer en landes un paysage de 100 milles carrés comme le Jütland, ainsi que cela est arrivé. On verra pourtant que, d'après notre conception, la supposition n'empêche pas que, sur certaines parties dans ces contrées, vraisemblablement les plus sèches, le plus souvent exposées au vent, ou les plus chaudes, l'humus koprogène ne s'est jamais développé, si bien que la formation de la lande actuelle, avec son humus tourbeux, peut-être pendant la période de landes (*Steppenperiode*) qui, d'après la recherche de J. J. Steenstrup [1], a pris place dans notre pays entre l'époque glaciale et celle des forêts de pins sylvestres, peut très bien s'*appuyer* à l'époque glaciale.

Avant pourtant que nous nous arrêtions à cette conception développée dans ce coup d'œil retrospectif, et que nous osions utiliser celle-ci comme avertissement pour la sylviculture pratique, nous devons la comparer avec le résultat des recherches entreprises par d'autres sur le même sujet.

---

1. D'après un rapport imprimé dans le *Naturhistorische Verein,* à Kopenhagen, en 1879.

DISCUSSION

Formation de lande.

Dans la première partie de ce mémoire, il n'a été fait mention de la lande et de la littérature qui traite de cette formation si pleine d'importance pour notre pays, qu'autant que c'était nécessaire pour la comparaison des conditions du sol existant sous la tourbe dans les forêts de chênes avec le sol correspondant de la lande; nous voulons à cause de cela nous orienter dans le cercle des observations et des conceptions qu'offre la littérature sur les phénomènes de la même famille que la formation de lande.

Caractère du sol de lande. — Les conditions naturelles des landes jütlandaises étendues ont été déjà auparavant l'objet de l'observation et de l'étude et ont été décrites plusieurs fois d'après l'atlas de Pontoppidan [1] depuis cette époque jusqu'à nos jours. L'intérêt qu'on a commencé à attacher, à la fin du siècle précédent, aux plans de mise en forêts de ces espaces nus, dirigea aussi autrefois l'attention des forestiers sur celles-ci et le premier auteur danois, Esaias Fleischer, qui a traité d'une façon détaillée la sylviculture, ne traite pas non plus des étendues de landes [2]. Les auteurs du dernier siècle, Pontoppidan, N. Blicher [3], Es. Fleischer et d'autres [4], n'ont cependant donné qu'une description très superficielle du sol de lande, et n'ont cherché aucune explication de son mode de formation. L'opinion de ces auteurs était, lorsqu'ils s'exprimaient surtout sur ce point, que le fer est le ciment de l'Ortstein (Pontoppidan, v. Aphelen, Fleischer).

Dans ce siècle, au contraire, la connaissance du sol des landes a beaucoup plus progressé. Déjà, en 1802, le capitaine Selmer donna, dans son *Efterretninger om Ahlhedens og Randböllehedens almin-*

1. Pontoppidan, *Danske Atlas,* 1763, t. I, p. 399.
2. E. Fleischer, *Forsög til en Underviisning i det Danske og Norske Skov-Väsen.* Kbhn, 1779, p. 538-540.
3. *Topographie over Vium Prästekald.* Wiborg, 1795, p. 35.
4. Anonyme dans *Oeconomisk Journal,* 1758, p. 20.

delige Beskaffenhed[1], une représentation du sol de lande si bien faite, qu'à mon avis, elle compte parmi les meilleures qui existent. « Sous une terre de tourbe épaisse de 3 à 4 pouces (0m,0784 à 0m,1046) », dit-il, « gît à 3-16 pouces (0m,0784-0m,4284) du sable blanc. Puis après, suit l'Ortstein noir, qui a ordinairement une épaisseur de deux pouces (0m,0523) et sous celui-ci de l'Ortstein rouge. Si l'on dissout l'Ortstein noir dans l'eau, il se décompose alors en un fin sable blanc, qui se précipite et en une fine matière noire qui brûle comme la terre de tourbe, et pendant la combustion, on sent une odeur de fumée de tourbe, ce qui semble démontrer que l'Ortstein noir a son origine dans le royaume végétal, peut-être de telle façon que la surface superficielle de la terre tourbeuse qui porte une végétation de bruyère a été autrefois recouverte de sable mouvant... et ainsi dans le cours des temps est devenue la matière dure actuelle. L'Ortstein rouge ne se trouve jamais tout seul dans ces landes, mais toujours immédiatement sous l'Ortstein noir et là où le sable rouge est proche voisin de la couche de terre tourbeuse, où bien là où il n'y a pas d'Ortstein noir, on ne trouve aucun Ortstein. De là, il semble ressortir que le sable rouge est ici la matière première ou fondamentale et que l'Ortstein rouge est formé de celle-ci au moyen du liquide noir qui s'infiltre.

Selmer a donc reconnu la nature humique des éléments qui cimentent l'*Ortstein* et est, si je ne me trompe, le seul auteur qui ait vu qu'il peut consister en deux couches différentes et qui attribue une participation à la liqueur noire qui s'infiltre dans la formation de l'Ortstein rouge. Mais son opinion est que la couche sus-jacente de sable blanc provient d'une couverture de l'ancienne croûte de lande par le sable mouvant. Ce qui paraît déraisonnable dans le fait énoncé par lui « que l'Ortstein rouge manque là où il n'y a pas d'Ortstein noir, disparaît si l'on remarque qu'il dit expressivement « dans ces landes ». Cette observation peut très bien être aussi juste que le reste. Cependant, les communications de Selmer paraissent avoir été oubliées plus tard ou bien tout à fait laissées de côté par les chercheurs suivants.

---

1. Chr. Olufsen, *Œconomiske Annaler*. T. III, 1802, p. 123.

Le naturaliste distingué Bredsdorff paraît ne pas avoir fait une observation minutieuse des couches du sol des landes, mais il parle en plusieurs places[1] de la nature et de l'origine de la formation des landes. Il considère l'Ortstein comme un grès poreux, dans lequel l'hydrate d'oxyde de fer serait le ciment et il exprime sa manière de voir à ce sujet de la façon suivante[2] : « L'oxyde de fer hydraté, qui, combiné avec l'oxyde de manganèse et parfois peut-être avec le charbon, cimente le sable dans les contrées de landes et forme l'Ortstein, avait peut-être son origine dans les matières végétales, que le fer rend solubles dans l'eau, après quoi la dissolution est amenée dans le sable jusqu'à une certaine profondeur et là, le fer se précipite. Il semble vraisemblable que les plantes participent à la formation de ce produit, par cela même que ces couches reposent toujours parallèlement à la couverture de bruyères et n'existent pas où celle-ci manque.

L'interprétation donnée par C. Dalgas dans sa description du Amt Ripen dans l'année 1830[3] est plus connue que les aperçus du précédent auteur sur les landes. Il donne tout aussi peu que Bredsdorff une description particulière du sol de lande d'origine, mais il mentionne l'Ortstein et il se range, dans sa manière de voir, absolument à l'avis des auteurs précédents, au point de vue du caractère de l'Ortstein comme concrétion d'oxyde de fer et de son mode de formation. Ses communications sur l'Ortstein sont devenues des plus connues parce que, autant que je le sais, il a fait le premier la distinction entre l'*Ortstand,* l'*Ortstein* et l'*Eisenortstein,* qui, plus tard, a été généralement admise.

Un autre auteur distingué, G. Sarauw[4], décrit en même temps un terrain très intéressant tout à fait analogue au sol de lande dans la partie située tout à fait au Nord de l'Horns Harde, dans Seeland. La

1. *Begyndelsesgrunde af Geognosien.* Kbhn, 1827, p. 170-221. — *Geognostike og mineralogiske Iagttagelser paa en Reise i Nörre-Jylland i* 1823 (*Tidsskr. f. Naturvid.* T. III, p. 225-258).

2. *Begg. af Geogn.*, p. 221.

3. *Bidrag til Kundskab om de danske Provindsers nuvärende Tilstand, foranstaltet ved Landhusholdningsselsk. V. Stk. Ribe Amt,* 1830.

4. *Loco citato,* VI, Stk. Fredriksborg Amt, 1831, p. 107-109.

terre qui s'y trouve, appelée *Hohlerde,* consiste en une masse tourbeuse épaisse tantôt de 2 à 3 pouces (0^m,0261 à 0^m,0784), tantôt de 10 à 12 pouces (0^m,2615 à 0^m,3138), qui renferme un épais tissu de racines de bruyères et recouvre, sur le pays plat, bas, consistant en fond de mer poussé, en une couche de sable épaisse de 3 à 5 pouces (0^m,0784 à 0^m,1307), qui à son tour est séparée du sable du sous-sol tantôt par une couche d'Ortstein tendre et seulement fortement coloré, tantôt par une couche d'Ortstein dur. Il semble que cette formation de lande se soit opérée avec de l'Humusortstein normal sur d'anciennes prairies salées, par suite de la croissance des bruyères. Le nom « *Hohlerde* » vient du son creux que cette terre rend quand on se promène dessus à pied, en voiture ou à cheval, particulièrement par un temps sec et chaud.

Après la publication par G. Forchhammer, en l'année 1835, de son travail intitulé : *Danmarks geognostiske Forhold, forsaavidt som der ere af hängige af Dannelser, der ere sluttede,* l'opinion de cet éminent chercheur sur la formation de l'Ortstein, semble avoir été chez nous prépondérante pendant une génération, et il est dans ce temps revenu souvent aussi bien sur sa description du sol de lande que sur l'explication qu'il a donnée de son mode de formation.

Forchhammer rectifie de suite dans son premier travail la faute commise par Bredsdorff et Dalgas dans l'indication des éléments de l'Ortstein, lorsqu'il dit : « Le ciment de l'Ortstein sableux (*Sandortstein*) n'est pas le fer, mais bien une matière organique tourbeuse. » Il commence donc par exprimer le même avis sur ce point que Selmer, sans d'ailleurs faire mention de cet auteur : plus tard, il semble pourtant s'être approché un peu plus de Bredsdorff, car, dans les publications parues en 1855 et 1862 [1] il exprime que l'hydrate d'oxyde de fer est le ciment, en ajoutant, qu'il tient pour très

1. *De jydske Heder* (*Steenstrup, Dansk Maanedsskrift.* T. I, 1885). — Barth, *om de Danske Heder og deres Dannelse* (*Nordisk Universitets-Tiddsk. Aarg,* III, 1857); — *Bidrag til Skildringen af Danmarks geographiske Forhold i deres Afhängighed af Landets indre geognostiske Bygning.* Kbhn, 1858 (*Universitätsprogramm,* voyez p. 48). — *Den jydske Hedeslettes physiske og geognostiske Forhold* (*Tiddskr. f. Landökonomi* III R. T. IX, 1861). — *Ahlformationen og Campinesandet* (*Oers o. Kgl. d. Videnskabernes Selskabs Fork.* 1862.).

vraisemblable « qu'une certaine quantité d'oxyde de fer est nécessaire pour donner de la cohésion aux matières humiques[1] » et que « le *Sandortstein* n'est pas seulement différent du sable ferrugineux, sur lequel il repose, par ce fait qu'il contient communément une substance brune semblable à la tourbe, de l'acide humique entré en combinaison avec le fer, en formant une sorte de sel, l'humate d'oxyde de fer qui cimente les grains de sable et les petites pierres[2] ».

Forchhammer donne plus loin, dans toutes ses publications, une représentation exacte des différentes couches du sol de lande, mais, nulle part, il ne parle des deux parties de l'Ortstein (la noire et la rouge), que Selmer avait remarquées. Dans sa terminologie, il diffère sur un point, à notre avis d'une façon qui n'est pas particulièrement heureuse, de ses prédécesseurs, en désignant par *Maar* la partie du sol de lande, sous-jacente de la croûte de lande, qui consiste dans sa partie la plus essentielle, en un sable traversé par un tissu de matières humiques fortement mélangées avec des racines de bruyères[3], tandis qu'aussi bien Selmer que de même C. Dalgas et Bredsdorff désignent par *Maar* la croûte de lande même qui est enlevée par les habitants de la lande et utilisée comme combustible. Cela est arrivé aussi à l'auteur du présent écrit, E. Dalgas, qui dans son premier travail sur les landes s'accorde tout à fait sur plusieurs points avec Forchhammer et emploie aussi les dénominations adoptées par cet auteur, pour désigner les couches du sol de lande[4].

La couche humique déposée sous les grandes étendues de landes du Danemark, de l'Allemagne du Nord, de la Hollande et de la Belgique ou dans les étendues de sable de ces régions a été principalement l'objet des recherches de Forchhammer, entreprises à propos de sa théorie de la formation de l'Ortstein. En dehors de celle-ci,

---

1. Barth, *passim*, p. 81, Anm.

2. Johnstrup, *Almenfattelige Afhandlinger og Foredrag af J. G. Forchhammer*. Kbhn, 1869, p. 215.

3. Voyez, par exemple, la figure page 158 dans la publication intitulée : *Ahlformationen og Campinesandet*.

4. E. Dalgas, *En Oversigt over Hederne i Jylland*. Aarhus, 1866, p. 13.

dans quelques écrits du même temps[1], d'autres formations d'Ortstein, pour lesquelles furent employées les désignations choisies par C. Dalgas, avec l'addition d'une définition claire et exacte, qui, comme je le suppose, provient de Forchhammer, bien que je n'aie vu pourtant à aucun endroit ce fait cité expressivement. Voici ce qu'on dit dans les écrits en question : « Dans le Jütland on désigne dans le langage courant « *Ahl* » (*Ortstein*) cette espèce de pierre brune, qui existe en couches homogènes avec une extension plus ou moins grande. Cependant on doit remarquer à ce sujet qu'il y a trois sortes d'Ortstein, dont les propriétés sont très différentes, à savoir : 1) *Eisenortstein* (*Rasenortstein*) fer limoneux, qui se trouve dans les marais et les prairies et qui renferme une si grande quantité de fer, qu'on peut en extraire ce métal ; 2) l'Ortstein proprement dit (*eigentliche Ortstein*), qui, heureusement ne s'étend jamais sur de grands espaces et qui consiste en sable et en pierres fines, liés ensemble par un ciment brun ferrugineux en une pierre très ferme, qui ne se décompose pas à l'air. Cette sorte d'Ortstein se trouve en général à l'état compact sous la croûte terrestre en couches d'une puissance de 6 à 12″ et est d'après cela extrêmement préjudiciable à toute végétation ; 3) *Sandortstein* ou *Ortsand* (Ortstein sableux) ou sable fin lié par un ciment tourbeux ou une couche meuble poreuse de grès, dont la totalité est en général mince, le plus souvent d'une puissance de 6 à 10″, qui se décompose à l'air et est dissous, quand on conduit de la marne sur les lignes sous lesquelles il se trouve ; souvent, il se laisse aussi bien percer par la bêche. Cette dernière espèce d'Ortstein existe dans la partie occidentale de la presqu'île, sur de très grands espaces. » Dans les écrits de Forchhammer, parus sous son nom propre, les deux premières espèces d'Ortstein n'ont pas été mentionnées et sa définition du Sandortstein (Ortstein sableux) diffère, ainsi qu'on l'a fait remarquer plus haut, de celles qu'on a citées ici, en ce qu'il désigne comme ciment dans tous ses premiers travaux le fer en combinaison avec les acides humiques.

---

1. Bergsöe, C. D. F. *Reventlow's Virksomhed,* etc. Kbhn., 1837. T. II p. 11, Anm. ; Bergsöe, *Den Danske Stats Statistik,* T. I, 1843, p. 131, Anm.

Forchhammer considérait, comme on sait, ces *Sandortstein*, qui forment le membre le plus essentiel de son « *Ortsteinformation* » comme une formation définitive : « Nulle part, nous ne trouvons un grès dont l'humate de fer est le ciment et recouvert de sable quartzeux blanc lavé, comme une formation qui se continue[1]. La couche d'Ortstein doit son origine de formation à une couverture d'eau, par laquelle une quantité de marais tourbeux formée auparavant a été détruite, la masse de tourbe enlevée par limonage (*ausgeschwemmte*) est entrée en combinaison avec le fer de la couche intermédiaire et a formé le ciment de l'*Ortstein*[2]. » Cependant, Forchhammer ne paraît pas être tout à fait aussi accessible à d'autres théories : « On pourrait mettre en doute », écrit-il[3], « que la couche d'*Ortstein* provient de cette couverture végétale, qui se trouve maintenant sur la lande et dont les restes organiques, dissous dans l'eau, par le sable blanc qui ne peut pas les cimenter, sont entraînées à l'état de sable ferrugineux dans les profondeurs où ils sont retenus par des attractions chimiques. » Il a rejeté cependant à nouveau cette manière de voir, pour différentes raisons, notamment parce qu'il n'a pu s'expliquer si cette formation n'est pas due à une destruction des marais tourbeux, et dans ses travaux plus récents, il ne revient pas à nouveau, au moins à ma connaissance, sur cette vue, à son avis insoutenable. — Sur l'origine du caractère des couches de terre qui se trouvent sur l'Ortstein, Forchhammer s'exprime, autant que je le sais, seulement dans une publication allemande de l'année 1847, de la façon suivante : « On reconnaît distinctement que l'acide humique des landes, se renouvelant toujours annuellement pendant des milliers d'années, a dissous et entraîné au loin les traces de la partie fertilisante, que le mouvement des vagues a laissées dans le sable[4]. »

C'est seulement à l'époque à laquelle les vues de Forchhammer sur les conditions géognostiques régnaient en maîtresses qu'apparut

1. *Ahlformationen og Campinesandet, passim*, p. 159.
2. Barth, *passim*, p. 81.
3. *Steenstrup's Maanedsskr.* (voyez Johnstrupp, *Almenfattelige Afh.*, p. 216).
4. *Festgabe für die Mitglieder der XI. Versammlung deutscher Land- und Forstwirthe*, Altona, 1847, p. 340.

le Norvégien Barth, dont l'opinion sur le sol des landes danoises était différente. Dans sa grande publication (*Nordische Universitätzeitschrift*[1]), il rechercha, en l'année 1855, les opinions des forestiers et géologues de l'Allemagne du Nord sur la formation de landes dans les conditions jütlandaises. Il fit ressortir le caractère humique du ciment dans l'Ortstein, en opposition avec les idées de la plupart des Allemands, maintint que la couche de sable plombifère était due à une transformation en sable d'une ancienne couche d'humus, et qui, enfin, dans le cours des temps, avait été changée en Ortstein, et soutint l'opinion que la formation de lande est une conséquence d'une dévastation sans retour de la forêt.

Après la mort de Forchhammer, la théorie de cet auteur sur la formation de l'Ortstein paraît n'avoir plus trouvé aucun écho. F. Johnstrup, déjà dans son mémoire sur Forchhammer[2], renonce expressivement à cette théorie, et ne revient pas, à nouveau, là où l'occasion s'en présentait, sur cette formation qui, suivant l'idée de Forchhammer, était définitive[3]. Dans ses excellents *Billeder fra Heden* et à d'autres endroits[4], E. Dalgas, comme plus tard aussi Hoff[5] et Johnstrup, s'est rangé à la théorie rejetée par Forchhammer, que le Sandortstein est un produit de la végétation de bruyères et des restes de déchets de celle-ci ; ces auteurs ne livrent pourtant aucune contribution réellement neuve à l'éclaircissement du développement du sol de lande caractéristique et on utilisa toujours la division, établie à l'origine par C. Dalgas, de l'Ortstein en trois couches, en partie avec les définitions posées premièrement en 1837 dans *Reventlow's Levnet*, de Bergsöe.

Nous nous étions efforcé, dans ce qui précède, de rassembler, quand c'était possible, tout ce qui a paru dans notre littérature sur les rapports dont nous nous occupons, autant que cela porte l'em-

1. Tomes I et II.

2. *Forchhammer's Almenfattelige Afhandl.*, p. 207, Anm.

3. Le 11. *danske Landmansforsamling*, p. 301 et suiv. ; le 13. *danske Landmansforsamling*, p. 155 et suiv. ; *Danmarks Statistik*, T. I, p. 80 et suiv.

4. *Oversigt over Hederne i Jylland*. Aarhus, 1866, p 13 ; *Geografiske Billeder fra Heden*. Kbhn. 1867, p. 32-36 ; Möller-Holst, *Landbrugsordborg*, T. III, p. 57.

5. *Landbrugsordbog*, T. I, p. 50-51.

preinte d'une observation originale, en partie pour donner à la discussion toute l'étendue désirable et en partie parce que la représentation générale de ces conditions du sol fait souvent l'impression qu'il y manque une connaissance suffisante de ce qui a été fait antérieurement par les auteurs, qui se sont occupés de la question.

Relativement à la partie de la littérature parue à l'étranger, nous n'osons pas espérer donner un aperçu aussi complet. Il est, à franchement parler, vraisemblable que çà et là de bonnes observations[1] ou des opinions justes sont livrées à la publicité dans des écrits locaux peu connus, qu'il était impossible de se procurer, et nous avons dû nous tenir principalement à ce qu'on trouve dans les traités accessibles ou dans de plus grands ouvrages d'usage général.

Dans la littérature allemande[2], c'est dans les travaux bien connus de Senft qu'on trouve les sources les plus précieuses pour la connaissance des formations dont on a parlé ici. Suivant cet auteur, l'hydrate d'oxyde de fer est le ciment principal dans toutes les formations d'Ortstein et celles-ci doivent être, à cause de cela, comptées toutes parmi les limonites ; il a omis d'après cela le caractère le plus essentiel de l'*Humusortstein*. Les formes d'Ortstein qui nous intéressent le plus ici, notre *Humusortstein*, le *Sandortstein* de C. Dalgas et de Forchhammer, l'Ortstein de Senft ou Ortsand, avec les couches de sable plombifère qui leur appartiennent, ont été décrites correctement dans leurs points essentiels, et il pense que le fer qui, d'après lui, devait cimenter le sable de l'Ortstein provient de la couche sus-jacente, de laquelle il a été enlevé par lavage

1. Voyez, par exemple, la mention que fait Barth des observations de v. Honstedt (*Nord. Univ. Tidsskr.* T. II, p. 6.)

2. Je n'ai pu trouver, dans la littérature française et belge, aucune contribution à l'éclaircissement des phénomènes dont on parle ici qui eût les qualités requises pour être rapprochées des théories sur l'Orstein de landes communiquées dans les autres travaux cités ici. Les plus anciens auteurs belges dont parle Forchhammer, comme Dumont et Duwael, paraissent être ceux qui s'accordent le mieux avec lui dans leur conception de l'Orstein.

3. *Humus-, Marsch-, Torf- und Limonitbildungen* (*Formations d'humus, de marais, de tourbe et de limonite*), Leipzig, 1862 ; *Steinschutt und Erdboden* (*Gravier et sol*), Berlin, 1867.

comme carbonate et tannate d'oxydule de fer [1], qui se transforme de nouveau dans les couches plus profondes en oxyde de fer.

Nous trouvons une conception plus nette du caractère essentiel de l'*Humusortstein* chez Burckhardt [2] et J. Wessely [3], qui définissent les couches cohérentes d'Ortstein d'une façon analogue à Forchhammer, c'est-à-dire comme étant une forme d'Ortstein dans laquelle la matière humique avec 1-2 pour cent de fer est le ciment. Ils considèrent tous deux cette formation d'Ortstein, comme une formation du temps présent et déclarent qu'on ne sait, en général, rien de plus là-dessus. Les observations citées par ces auteurs témoignent d'ailleurs d'une connaissance assez restreinte de l'apparition des couches en question ; ainsi, Wessely pense que l'Ortstein est produit « fréquemment ou plutôt en général » par une transformation en sable d'une ancienne croûte de lande. Schütze [4] confirmait par ses analyses la justesse de la conception des deux auteurs qu'on vient de nommer au point de vue des éléments cimentants de l'Ortstein.

Emeis a entrepris une étude beaucoup plus vaste de la formation de lande que celle faite par les autres auteurs allemands, et a, dans ses différentes communications [5], publié une série de très jolies observations sur le sol des landes et les phénomènes qui s'y rattachent. Il fait ressortir que le ciment de l'Ortstein peut être tout aussi bien l'oxyde de fer que les matières humiques ; que les acides humiques qui se trouvent dans ces couches proviennent de la couche de tourbe

---

1. *Humus-, Marsch-,* etc., p. 189-195. Les conditions de gisement que Senft cite pour ses formations de limonite, se rapportent évidemment à du fer limoneux et pas à notre *Humusortstein,* quoiqu'il soit difficile de distinguer duquel des deux il parle. Cela est admis par Girard et quelques autres auteurs qui ne sont pas cités dans cet aperçu de la littérature.

2. Burckhardt, *Säen und Pflanzen* (*Semailles et plantes*). Hannover, 1870, p. 296.

3. J. Wessely, *Der Flugsand und seine Kultur* (*le Sable mouvant et sa culture*). Wien, 1873, p. 87-92.

4. Schütze, *Die Zusammensetzung des Ortsteins* (*la Composition de l'Ortstein. Danckelmann's Zeitschr. f. Forst- u. Jagddw.* T. VI, 1874, p. 190).

5. *Waldbauliche Forschungen und Betrachtungen* (*Recherches et observations forestières*), Berlin, 1875 ; *Vereinsbl. d. Haide-Kultur-Vereins für Schlesw.-Holst.*, 1876-1883, surtout 1878, n° 8, 1883, n° 2 ; *Beilage z. Vereinsbl. d. Haide-K.-V.*, etc., avril 1881 ; *Allg. Forst- und Jagdz.*, 1878, 1879, 1880, 1883.

à la superficie de la terre, sur laquelle a lieu principalement, pour des causes climatériques, une sorte de transformation en marais et que les acides humiques peuvent être conduits par l'eau de pluie à travers le sable plombifère, en vertu de la teneur restreinte de ce dernier en éléments basiques. Il voit dans la formation d'Ortstein un phénomène de concrétion et il ne distingue pas clairement entre les formes très différentes, comptées comme *Ortstein*. Il attribue la formation du sable plombifère à une silicification ou à une nouvelle formation de quartz s'accomplissant en partie dans la couche d'humus, en partie sous l'influence de la vie végétale : il comprend par là aussi bien une formation de poudre siliceuse fine que de plus grands cristaux de quartz et de grains de quartz analogues à la chalcédoine; pendant que ces masses de quartz sont déposées immédiatement sous la couverture végétale, les couches de sable plombifère se forment régulièrement. Les observations d'Emeis sont, comme je l'ai dit dans mon premier travail, aussi intéressantes par ce fait que peut-être [1] il est le premier qui ait montré que du sable plombifère et de l'Ortstein n'existent pas seulement sous une végétation de bruyères, mais aussi dans les forêts de hêtres.

Sans avoir connaissance du travail d'Emeis, le forestier hanovrien Biedermann[2], s'appuyant essentiellement sur les analyses de Schütze, a donné une description des formations d'Ortstein de sa contrée. Il accentue fortement, en opposition avec Emeis, la différence entre le fer limoneux et l'Ortstein et admet la justesse de la composition de ces masses donnée par cet auteur, mais il a négligé le grès limoneux (*Limonitsandstein*) des landes, avec l'oxyde de fer comme ciment, qui justement donne lieu à une confusion. L'Ortstein existe, à son avis, seulement sur le sol sableux qui pendant longtemps avait été recouvert d'une végétation de bruyères ; il pense que

1. Voyez notamment la citation faite par Forchhammer des déclarations de Mühry (Barth, *Om de danske Heder, passim*, p. 83); il ne m'a pas été possible de me procurer le discours même prononcé par Mühry à la réunion des agriculteurs et forestiers allemands, tenue en Hanovre en 1852.

2. Biedermann, *Ortstein und Raseneisenstein* (*Ortstein et fer limoneux*) ; B. Danckelmann, *Zeitschr. f. Forst und Jagdwesen*. T. VIII, Berlin, 1876, p. 80.

l'Ortstein manque aussitôt que le sol est limoneux. La couche d'Ortstein suit la conformation du terrain, se trouve aussi bien dans les montagnes que dans les vallées et doit provenir particulièrement d'un entraînement par limonage (*Hinabschlämmung*) de la poussière d'humus de la superficie. Quoique sa remarque à ce sujet ne soit pas tout à fait claire, il pense pourtant que « les matières humiques qui traversent la couche supérieure du sol ont entraîné avec elles un peu de fer de celui-ci vers l'Ortstein, qu'il contribue à cimenter ».

Je n'ai trouvé qu'un petit nombre d'indications dans la littérature sur les formations de sol dont on a parlé ici, relativement à leur existence sur d'autres emplacements que dans les landes, abstraction faite de l'observation souvent mentionnée d'Emeis de l'existence de ces couches dans les forêts de hêtres ; je puis citer seulement la courte, mais intéressante communication de von Purkyné[1] sur l'existence de l'Ortstein dans les forêts de pins sylvestres de Bohême. Sous une couche de tourbe, consistant principalement en restes de déchets de forêts de pins sylvestres, il trouva une formation nettement définie de sable plombifère et d'Ortstein, et l'ancien peuplement de pins sylvestres montrait indubitablement que toute la couche s'était développée en moins de 100 ans. Il y a donc là une analogie complète avec l'observation mentionnée antérieurement, que j'avais faite dans les forêts de hêtres à certaines places dans le *Teglstruper Gehege*, et von Purkyné fournit ainsi une nouvelle forme de végétation à la série de celles pouvant produire la tourbe avec sable plombifère et Ortstein [2].

Il ressort de ce résumé de nos propres contributions et les plus importantes de la littérature étrangère à la connaissance du caractère de l'*Humusortstein* que tous les traits essentiels dans la culture du sol de landes ont déjà été plusieurs fois auparavant représentés avec exactitude. En outre, on accordera pourtant, sans doute, que cette

---

1. Sur une formation d'Ortstein produite récemment par une transformation en lande (*Verheidung*) [*Vereinsschrift des böhmischen Forstvereins*] citée d'après la *Vereinsblatt des Haide-Kultur-Vereins für Schleswig-Holstein,* 1879, p. 202-215.

2. Comparez, page 252.

formation si simple en elle-même, qui joue un très grand rôle dans le Nord de l'Europe, n'a pas été examinée assez complètement pour que l'on puisse considérer comme incontestable ce qui, dans le cours des 80 dernières années, a été indiqué par une série d'auteurs comme Selmer, Forchhammer, Barth, Burckhardt, Berendt et Schütze, c'est-à-dire que le ciment de cette forme d'Ortstein consiste en matière humique et combinaisons humiques. Ces auteurs, ainsi que l'a fait par exemple Forchhammer, ont en même temps attribué au rôle de l'oxyde de fer dans l'Humusortstein une signification différente et incertaine, si bien que la façon de concevoir l'*Humusortstein* comme une pierre de sable ferrugineuse (*Limonitsandstein*) a pu toujours être émise à nouveau.

Au contraire, les conditions de gisement et l'existence de cette forme d'Ortstein n'ont sans doute pas été représentées clairement autrefois, ce qui, à nos yeux, est la cause la plus importante de ces explications contradictoires et peu satisfaisantes sur la façon dont cette couche a pris naissance. Le fait que cette couche peut se présenter avec ses différentes variétés dans presque tous les sols de formation alluviale et diluviale, sous des formes variant depuis le sable grossier à notre lehm sableux ordinaire, aussi bien que les sortes d'argiles plastiques, micacées, de la formation carbonifère ; qu'elle est liée dans son existence inséparablement à une forme d'humus déterminée, la tourbe formée sur le sec, si bien qu'elle manque là où se trouve une autre espèce d'humus (*Mull*, terreau), ou bien là où il n'existe aucune couverture d'humus sur le sol, et qu'enfin se trouve toujours entre la couche de tourbe et d'*Humusortstein*, une couche de terre décolorée par le lavage, ne pouvant absorber aucun acide, toutes ces conditions ont échappé en partie à l'attention des observateurs : quelques auteurs cependant, comme Forchhammer et Emeis, semblent n'avoir pas été loin d'interpréter clairement la plupart de ces moments. Mais, d'un autre côté, on ne trouve dans la précédente littérature rien qui puisse faire mettre en doute la justesse de ces principes.

Formation du sol de landes. — De toutes les opinions différentes sur l'origine du sable plombifère, la théorie émise par Selmer, plus tard par Barth, en partie aussi par Wessely, d'après laquelle la couche

de sable blanc gris déposée sur l'*Humusortstein* devrait son origine à une couverture de l'ancien sol de lande par du sable mouvant, a été déjà l'objet d'une réfutation basée sur des raisons importantes de la part de Forchhammer [1]. A ce propos, il fait remarquer que le sable, quand il revient au repos, après que le vent l'a fait tourbillonner de tous côtés, ne se dépose jamais en couches homogènes, d'épaisseur égale comme dans le sable plombifère, et celui qui connaît les formations de sable mouvant le long des côtes et dans les sables appelés *Binnensanden* (*Indsande*), sables du continent intérieur, se ralliera à la réfutation de Forchhammer. Mais d'autres arguments d'égale importance viennent s'ajouter aux observations mentionnées plus haut, contre la propriété du sable plombifère comme sable mouvant. Nous avons vu que les dunes de sables déposées sur de vieilles landes n'ont pas la moindre ressemblance avec le sable plombifère, avant qu'il ne se forme de nouvel Ortstein sur une nouvelle couche de tourbe dans la couche amoncelée par le vent, et enfin l'apparition du sable plombifère dans des forêts sur les sols les plus différents, avec les différences locales les plus variées, démontrent également d'une façon suffisamment claire que l'opinion en question est insoutenable.

Contre la théorie de Forchhammer, que les couches de sable reposant sur l'Ortstein (désignées par lui sous le nom de *Stubensand*, sable de chambre) sont déposées dans les eaux tranquilles du continent ou les golfes de la mer [2] et qu'elles sont analogues aux dunes, on ne peut rien opposer d'essentiel aussi longtemps que l'on observe la formation achevée dans les plaines de landes parfaitement plates, qui produisent l'*Ortstein*. Seulement, les couches de sable plombifère, d'une homogénéité égale dans les pays de montagnes dentelées, laissent s'expliquer aussi peu de cette façon que le fait cité par plusieurs auteurs, que le sable plombifère recouvre parfois les *tumuli* du temps passé, ou notre démonstration de l'existence de plusieurs couches de sable plombifère et d'Ortstein dans les parties

1. Barth, *Om de danske Heder og deres Dannelse, passim*, p. 78.

2. Forchhammer, *Om Ahlformationen og Campinesandet*, *passim*, p. 159. — Barth, *Om de danske Heder*, *passim*, p. 80.

de dunes, présentant certaines divergences. Il serait aussi difficile d'expliquer comment sur de pareilles places dans les landes, comme celles recouvertes par un bosquet, le sable plombifère aussi bien que l'Ortstein peut manquer, et l'accord entre le *Stubensand* de Forchhammer dans les landes et les couches de sable plombifère tout à fait analogue dans les forêts de hêtres, sur le lehm d'alluvion serait difficilement explicable. Les affirmations formelles de Forchhammer, qu'il n'existe jamais plus d'une couche d'Ortstein et que les parties exemptes de pierres sont des montagnes[1] recouvertes de broussailles de chênes, qui, à l'époque de la formation du dépôt de sable blanc, surgissaient au-dessus de la nappe d'eau, montrent suffisamment qu'il n'a eu aucune occasion de faire ses observations sur des emplacements de nature à justifier sa conception.

Enfin, en ce qui concerne la théorie de silicification d'Emeis, elle a trouvé parmi les géologues et les chimistes autant d'opposition énergique[2] que d'écho[3], ou tout au moins une approbation provisoire[4]. Particulièrement, des vues de Bischof sur la formation des couches de quartz ou plutôt de couches d'acide silicique insoluble sous la couverture végétale des prairies[5] ont contribué à appuyer la théorie émise par Emeis. De plus, il est à remarquer que Bischof, à mon avis, ne cite pas une seule observation de telles couches de silice, qui « dans 78,705 années » devaient atteindre une épaisseur de 1 pied (0m,3138), mais seulement, quand il traite cette question, il fait une hypothèse audacieuse, qui ne peut servir de point de départ à de nouvelles hypothèses.

---

1. Voyez, par exemple, Barth, *Om de danske Heder, passim*, p. 82.

2. W. Daube, *Das naturgemässe Zurückweichen des Waldes in Schleswig-Holstein* (*la Rétrogradation naturelle de la forêt dans le Schleswig-Holstein*); Borggreve, *Forstliche Blätter*, 1881; *die naturwissenschaftlichen Hypothesen des Herrn Oberförsters Emeis* (*Les Hypothèses scientifiques du chef de cantonnement* [inspecteur des forêts] *Emeis*). [*Ibidem*, 1882].

3. *Breitenlohner im Centralblatt für das gesammte Forstw.* 1876. Aussi Jentzsch doit, dans les *Forstliche Blätter* pour 1882, que je n'ai pu me procurer, avoir soutenu la conception d'Emeis.

4. R. Weber, dans l'*Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 1877, p. 119.

5. Bischof, *Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie* (*Traité de géologie chimique et physique*). T. II, 1885, p. 891 et 1323.

Contre la théorie de la silicification, on doit certainement maintenir fermement la valeur des résultats obtenus à l'aide du microscope, dans une étude comparative du sable plombifère et du sous-sol. Ainsi qu'on l'a déjà fait remarquer auparavant[1], le squelette de ces couches de terre montre, même dans ses plus fins éléments, comme, par exemple, par les petites feuillettes micacées presque microscopiques qui se trouvent à beaucoup de places dans le sable de lande[2], que les éléments du sable plombifère et du sous-sol sont les mêmes, et que parmi ceux-là seuls l'oxyde de fer et d'autres parties de la terre fine, pouvant être emportées au loin par l'eau, ont disparu. Aussi bien la grosseur que le caractère minéralogique du grain est tout à fait identique dans le sable plombifère et le sous-sol, ainsi que l'ont établi aussi des recherches d'autres auteurs[3]. Mais aussi le mode de formation du sable plombifère ne peut s'expliquer par la théorie d'Emeis, notamment l'aspect du profil de terre représenté (fig. 14, p. 234) avec un bosquet (*Krattbusch*) de chênes, tout aussi peu que sa formation qui s'est opérée peu à peu dans les forêts de hêtres, aussitôt que le terreau ou la croissance herbacée disparaissent ou deviennent considérablement limités. Ainsi justement les facteurs qui devaient accélérer surtout la formation de quartz ont perdu en importance. Nous n'avons donc à prendre en aucune façon parti dans la lutte violente qui s'est élevée sur la possibilité de la formation des grains de quartz, de la façon admise par Emeis en partie en accord avec Bischof, pour réfuter la conception de cet infatigable chercheur et de cet autre observateur rigoureux sur la nature du sable plombifère. La formation de quartz elle-même se trouve en dehors du domaine de notre recherche, et une observation plus attentive du grain de sable plombifère doit donner un éclaircissement suffisant sur ce fait, que le sable plombifère n'est pas un nouveau quartz (*Neuquartz*), ce qui d'ailleurs n'exclut pas que celui-ci peut contenir des formes différentes de si-

---

1. Comparez, 1re partie, p. 161.
2. Tuxen, *Nogle Analyser af jydsk Hedejord* (*Tiddskr. f. Skovbr.* T. I, p. 267 et suiv.).
3. V. Purkyné (voyez *Vereinsblatt des Haide-Kultur-Vereins für Schlesw.-Holst.* 1879, n° 12, p. 203-204).

lice insoluble, qui se trouvaient auparavant en solution dans le sol et la végétation; mais le sable plombifère a vraisemblablement cette propriété commune avec le sol de terreau, au moins avec le sol de lande en forme de terreau, là où aucune couche de sable plombifère n'est visible, bien que le terreau sableux (*Sandmull*) se trouve dans les landes sous la même exposition à la même distance de l'eau profonde et d'autres conditions locales, comme la superficie recouverte de tourbe et qui produit le sable plombifère.

Le mélange caractéristique du sable plombifère avec les particules d'humus, qui peuvent se rassembler à des places plus humides dans le sable grossier en couches tourbeuses sur la partie supérieure du sol et qui doivent être considérées, d'après les observations communiquées plus haut, particulièrement comme la partie de la tourbe entraînée par limonage, aurait, d'après Daube, une tout autre origine[1]. Il compte, à vrai dire, la couche en question comme vieil alluvium (*Altalluvium*) des géologues allemands; dans la croûte terrestre consistant en cette formation, il doit exister un sable qui, dans les 4 à 6 décimètres supérieurs, est coloré par une quantité extraordinairement faible de poussière d'humus qui, d'après Berendt[2], ne provient pas de la végétation actuelle, mais formait un élément d'origine du sable d'alluvion, à l'époque où celui-ci s'est déposé. Seulement, comme les observations citées plus haut montrent la façon dont le terreau a servi de point de départ à la formation du sable plombifère avec son mélange humique et comme il peut à peine s'élever une objection contre la signification qu'a l'acte de limonage (*Schlämmungsakt*) pour le dépôt de la poussière d'humus dans le sable grossier, alors soit le parallèle établi par Daube, soit l'explication de Berendt, est inapplicable, autant il est solidement établi que des couches de sable blanc gris se trouvent avec la poussière d'humus en plusieurs places, où elles ne peuvent pas être analogues avec le vieil alluvium des Allemands.

Quoique Forchhammer considère le sable plombifère princi-

1. *Passim*, p. 18.

2. *Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte von Preussen* (*Éclaircissements à la carte géologique spéciale de la Prusse*). Gradabth 44, n° 16; Berlin, 1878, p. 7 et à plusieurs places.

palement comme une couche déposée par l'eau et quoique Emeis appelle à l'aide sa théorie du nouveau quartz, pour expliquer la formation du sable plombifère, ces deux auteurs accentuent pourtant — Emeis d'ailleurs sous une forme un peu trop générale — la signification du lavage (*Auswaschung*) pour la caractérisation entière[1] du sable plombifère ; Daube[2] repousse cette conception, en démontrant l'influence suffisamment connue du pouvoir absorbant, et en opposition avec Emeis, remarque que si ses vues étaient justes, tout pays forestier aurait dû appartenir aux landes, parce que, toutes, elles sont exposées au même degré au lavage. Cette considération serait en partie juste, si, comme cela ressort des observations communiquées plus haut, la formation de tourbe n'avait pas pour action directe de faire perdre à la couche superficielle du sol en partie ou presque complètement son pouvoir absorbant, qui diminue dans le sol sableux maigre, avec l'enlèvement du fer par lavage.

Maintenant, en ce qui concerne les opinions émises sur le mode de formation de l'Ortstein, nous ne voulons pas nous arrêter plus longtemps à la théorie de Forchhammer, qui, plus tard, n'a sans doute pas été interprétée par un géognoste danois[3]. La conception de ce savant d'un grand mérite sur la formation d'Ortstein reposait sur un matériel de recherches trop restreint, et il ressort aussi bien des observations citées plus haut que des observations plus anciennes, que l'*Humusortstein* des landes (*Sandortstein* de Forchhammer) est

1. Forchhammer, *Festgabe f. d. Mittlg.* etc., p. 340 ; Barth, *Om de danske Heder, passim,* p. 79 ; Emeis, *Waldbauliche Forschungen* (*Recherches forestières*), p. 5 à 7, 47.

2. *Passim,* p. 2 à 5.

3. D'après l'opinion émise par Daube (*passim,* p. 18) « que la recherche géologique la plus récente a établi que l'Ortstein appartient à l'*Altalluvium* et est un compagnon caractéristique de cette formation », on devait croire que la conception de Forchhammer était encore partagée par les géologues, sur l'opinion desquels s'appuie Daube pour sa démonstration. Mais si l'on vérifie ses citations (von Berendt, *Die Umgegend von Berlin,* I, *der Nordwesten Berlins* (*Les Environs de Berlin,* I, *le Nord-Ouest de Berlin*), on reconnaîtra alors que ceci provient d'une mauvaise compréhension de l'expression *Haidesand.* Là où Berendt mentionne plus tard (par exemple page 46) la *Fuchserde* (terre de renard?) correspondant à notre *Humusortstein,* il ne formule aucune conclusion sur son origine, mais fait seulement quelques remarques sur son existence.

une formation du temps présent, qui se poursuit encore toujours : ce qui est une réfutation suffisante de ses vues. On doit seulement encore faire remarquer ici — ce qui n'est sans doute pas arrivé auparavant — que la découverte de charbon de bois dans l'Ortstein[1] faite par Forchhammer qui lui a servi principalement pour sa théorie sur les formations d'Ortstein, peut s'expliquer sans la moindre difficulté une fois que nous avons appris à connaître l'activité des vers de terre. On comprend cette découverte aussitôt qu'en se reportant aux anciennes communications de Wegdewood et de Darwin[2], on se rappelle que le charbon et les corps analogues qui ont reposé en haut du sol, s'enfoncent peu à peu dans celui-ci et sont enterrés sous les excréments des vers de terre.

Avec les preuves formulées contre l'opinion que le sable plombfère serait du sable mouvant qui aurait recouvert d'ancienne tourbe de bruyère, ni Selmer, ni ceux qui partagent son avis n'ont donné aucune explication de l'Ortstein envisagé comme une ancienne couche d'humus qui se serait transformée sous une couche sus-jacente de sable. Si pourtant quelqu'un devait encore émettre un doute sur l'admissibilité de cette théorie, premièrement un examen de l'*Ortstein* rendrait une semblable hypothèse absolument condamnable, et deuxièmement, les profils représentés par les figures 6 et 7 du tableau III mettent en évidence son incorrection. C'est-à-dire que nous avons ici réellement une croûte de lande transformée en sable qui, ainsi que cela ressort évidemment des figures, est fondamentalement différente de l'*Humusortstein* normal des landes.

Toutes nos recherches confirment les idées de Johnstrup, E. Dalgas et Hoff sur la formation de l'Ortstein dans ses traits principaux. Aussi l'explication donnée par Senft du mode de formation de son *Ortstein* se concilie aussi très bien avec notre conception, bien qu'il attribue à l'oxyde de fer une autre importance pour la couche que celle admise ici. Les idées d'Emeis sur l'*Humusortstein* se rappro-

1. *Ahlformationen*, etc., *passim*, p. 158. Barth, *om de jydske Heder*, *passim*, p. 81.

2. Darwin, *On the formation of mould* (*Sur la formation du terreau*) [*Transact. of the geol. soc.* Vol. V, 1837, p. 505].

chent encore plus des miennes[1]; pourtant cet auteur a cherché à réfuter en détail ma théorie : l'origine de la teneur du sable plombifère en poussière et en charbon d'humus doit être attribuée au limonage de la tourbe de landes, et de plus il doit aussi rejeter la conception exposée plus haut de la formation de la couche tourbeuse supérieure de l'Ortstein.

Emeis[2] ne veut pas approuver l'opinion émise par moi sur l'importance du mouvement de l'eau pour le gisement des particules d'humus. A la vérité, il ne fait valoir aucune raison sérieuse contre ma théorie, mais, en forte opposition avec moi[3], il affirme que les particules d'humus du sable plombifère proviennent en partie de restes de racines végétales mortes, en partie de concrétions d'humus qui devaient se former dans la couche supérieure du sol remplie d'eau chargée d'acide humique.

La première de ces sources du charbon d'humus du sable plombifère est sans doute justement admise, seulement elle va si naturellement de soi qu'il est à peine nécessaire d'en donner une démonstration. Elle n'est pourtant pas suffisante pour expliquer le phénomène, et à la vérité par la raison que déjà nous aurions trouvé à diverses places dans la couche de sable plombifère une différence aussi extraordinairement grande dans la quantité de particules d'humus, sans qu'il fût possible de découvrir une différence correspondante dans le développement des racines de la végétation de bruyères. Mais il n'est pas sans doute possible d'expliquer clairement l'existence de la seconde

1. Le *Vereinsblatt des Haide-Kultur-Vereins für Schlesw.-Holstein*, 1879, p. 145-146, montre pourtant que nous sommes en contradiction sur des points peu importants. Une discussion des exemples cités par Emeis ne peut avoir d'utilité, si l'objet de l'observation même n'est pas exposé.

2. Cette manière de voir n'est pas tout à fait isolée, car déjà Barth (*passim*, fasc. 3, p. 15) cite comme une explication possible, pas tout à fait rejetable, que la couche entière d'Ortstein puisse être produite par des particules d'humus *entraînées en bas* (*herabgespülten*) de la tourbe ; mais il rejette à nouveau cette supposition comme invraisemblable, pourtant pas d'après une analyse des rapports de structure de la couche, — qui aurait montré dans tous les cas, que l'*Humusortstein* typique ne peut être formé de cette façon, — mais d'après d'autres raisons peu claires, empruntées aux rapports de gisements de celui-ci. Comme cela a été mentionné plus haut, l'importance du limonage n'est pas restée étrangère à Biedermann.

3. *Vereinsblatt*, etc., 1879, p. 142-144.

des sources des grands amoncellements d'humus dans la partie la plus inférieure du sable plombifère. Ces gisements homogènes d'une masse tourbeuse sur le sol de la partie supérieure du sous-sol avec des passages tout à fait successifs à un sable plombifère blanc de neige en dessus vers la superficie de la terre, où des grains de quartz blancs sont mélangés dans la masse d'humus noire, ont aussi peu que possible des points communs avec les formations de concrétion, et d'ailleurs, jamais, à ma connaissance, il n'a été trouvé nulle part une formation de substance tourbeuse pouvant trouver sa place dans la catégorie des concrétions. La justesse de mon interprétation, pour laquelle l'exposé des motifs (pages 279-282) peut être invoqué, n'a pas été déniée par Emeis ; il cite seulement deux observations qui ne sont pas propres à renverser une idée qui me semble être la plus naturelle et qui ressort immédiatement de ce qui est établi sur le développement de l'Ortstein noir ou de l'Ortstein de tourbe (*Torfortstein*) [Tableau III, fig. 2-4[1]].

Un coup d'œil rétrospectif sur les opinions les plus importantes touchant les procédés qui ont produit une différenciation caractéris-

---

1. *Vereinsblatt*, etc., 1879, p. 142-144. Il a d'abord trouvé en haut, gisant sur la couverture de bruyères, de vieux os traversés par un tissu de racines de bruyères dont le tissu cellulaire était rempli de concrétions d'humus noires (*schwartzen Humuskonkretionen*), qui ne pouvaient provenir d'un limonage (*Einschlämmung*) mécanique. Ce phénomène trouve son explication la plus naturelle dans ce fait que les os poreux ont pu aspirer de l'eau chargée d'humus, dont l'évaporation a produit le dépôt de la masse noire. La seconde observation, qui devait réfuter l'entraînement par limonage de la poussière d'humus à travers une couche de sable grossier, consiste dans la découverte faite par l'auteur d'épanchoirs (*Abläufe*) et de canaux s'enfonçant de la couche normale de sable plombifère jusque dans le sous-sol, qui étaient revêtus d'une paroi d'Ortstein. De telles formations, que j'ai aussi fréquemment observées, ne sont pas, à mon avis, produites originairement par le phénomène souvent mentionné par Senft et par d'autres, à savoir qu'il s'est formé autour des racines mortes et analogues une couche de sable plombifère entourée d'une croûte d'Ortstein ; la richesse en humus de cette couche peut enfin très bien être augmentée par l'absorption d'une plus grande quantité d'acides humiques de la couche supérieure du sous-sol. Mais il n'y a là aucune démonstration de l'inexactitude de mon hypothèse d'entraînement par limonage (*Hinabschwemmung*). Si l'argile peut être enlevée par limonage du sol de *lehm* avec une grande masse de terre, alors la poussière d'humus doit pouvoir être certainement envisagée comme étant produite par un mouvement d'eau dans le sable grossier des landes.

tique dans la croûte terrestre, des sols de landes n'est pas d'après cela, à mon avis, propre à atténuer l'explication donnée dans le présent écrit de ce phénomène dont on a souvent parlé et qui se présente de façons si différentes. Ce qui s'est accompli dans la formation du sol de lande caractéristique est, à mon avis, le résultat des facteurs qui agissent dans chaque sorte de sol; ce sont là des circonstances simples et bien connues, qui, à cause de cela, ont été souvent mentionnées dans tout le siècle présent, mais auxquelles on n'a pas en général attaché leur entière importance : leur conception ne pouvait pas être claire, parce qu'on n'avait pas examiné le début des formations en question aux stades les plus faciles à comprendre et qu'on a négligé la signification de la faune terrestre pour l'état physique différent du sol.

Cause de la formation de lande. — On sait depuis longtemps déjà que les étendues de landes du Jütland et vraisemblablement aussi les pays limitrophes ne représentent pas partout l'état primitif du paysage, mais qu'elles sont le résultat d'un développement et que les contrées occupées aujourd'hui par les landes étaient autrefois recouvertes de forêts étendues. Mais les opinions émises sur les causes qui ont produit ce développement s'écartent beaucoup les unes des autres. Nous voulons dans notre orientation dans la littérature sur cette question, prendre comme point de départ les travaux des deux auteurs qui l'ont traitée dans les temps les plus récents; ce sont Emeis et Borggreve, qui représentent deux vues diamétralement opposées sous ce rapport, en ce sens qu'Emeis considère les landes presque exclusivement comme le résultat de facteurs naturels, tandis que Borggreve attribue à l'homme seul la faute des dévastations des forêts.

Emeis a le mérite d'avoir tout d'abord mis en relation causale la formation des landes aux frais de la forêt avec des transformations naturelles s'accomplissant lentement, où un grand développement d'acides humiques joue le rôle principal. Cette jolie et importante observation a été complètement confirmée par les recherches communiquées plus haut. Il se comporte au contraire autrement avec les théories par lesquelles il cherche à expliquer ce phénomène et avec les conclusions qu'il tire sur « l'arrangement (*Stellung*) des

essences et de la couverture du sol végétative dans le ménage (*Haushalte*) de la forêt » et « de la marche du boisement naturel » ; ces deux parties théoriques de son livre trouveront difficilement de l'écho. Les derniers groupes nommés de ses vastes déductions, qui sont en contradiction absolue avec une série d'observations connues, notamment pour les marais tourbeux, ne doivent pas être mentionnés ici, parce qu'ils se trouvent en dehors du plan de notre représentation, et c'est seulement le premier groupe, ses idées sur les causes de la formation des landes, qui feront l'objet d'une courte discussion.

Emeis a observé la formation de tourbe, il a reconnu son influence sur le sol et la végétation forestière et l'a interprétée justement dans beaucoup de points importants ; mais ses observations se bornent à cela, et il cherche alors à s'expliquer les causes du phénomène, au lieu de les explorer à fond par une recherche poursuivie. Il a été de cette façon conduit à la théorie suivante : la cause du développement des formations de tourbe gît dans un changement du climat ; celui-ci doit avoir été plus humide et plus rude, ce qui a provoqué la formation de marais qui, maintenant, de leur côté, contribuent à rendre le climat plus mauvais et à favoriser le développement de la tourbe de landes. Puis il dit : « Nous n'avons pas besoin de décrire comment maintenant par le développement des marais le terrain de dévastation climatérique s'est accru peu à peu et a repoussé de plus en plus la forêt limitrophe. » Abstraction faite complètement de l'explication de la formation de tourbe donnée dans le présent écrit, la théorie d'Emeis est réfutée par l'état des couches de tourbe même. Si de petites broussailles de chênes, hautes seulement de 2 pieds ($0^{m},6277$) et larges de quelques pieds, se trouvent sur une surface de lande avec du sable plombifère bien développé, sous l'écran desquels ces formations manquent complètement ; si, de plus, dans les forêts d'État du Nord de Seeland, comme à l'intérieur du Gribsskov et du *Teglstruper Gehege,* immédiatement près de la côte raide de Œresund (le détroit de *Œre*), des couches puissantes de sable plombifère et d'Ortstein reposent sur les montagnes les plus hautes et les plus sèches, sous une couche de tourbe épaisse de 6 pouces ($0^{m},1307$) ; si enfin, dans toute l'Allemagne et aussi bien sur les chaudes par-

ties calcaires de la *Rauhe Alp* et à beaucoup d'autres endroits, il se trouve des formations de tourbe analogues, il ressort de là que l'apparition de cette couche d'humus n'est pas du tout en relation avec les changements climatériques sur la Chersonèse cimbrique. Sur beaucoup d'emplacements, dans les landes et les forêts, les sols de tourbe et de terreau changent si subitement et sont mélangés les uns aux autres par places à un tel degré, qu'on doit renoncer à la pensée de chercher la cause dans des facteurs plus grands, s'étendant sur des parties entières du pays ou des contrées; l'apparition de la formation de tourbe se présente, particulièrement dans une étude des formes de développement, comme un phénomène local, dans le sens le plus strict du mot.

La manière de voir de l'auteur le conduit à une autre affirmation tout à fait insoutenable à nos yeux, à savoir que ce sont les conditions climatériques et leur résultat, la formation de tourbe, qui sont les seuls facteurs qui aient produit les landes et que les hommes n'ont aucune part à leur développement. De nombreuses données historiques renferment pourtant assez de témoignages du puissant empiétement des hommes sur la végétation forestière d'autrefois dans les régions de landes, pour qu'on ne puisse pas leur refuser une signification. Nous voulons seulement rappeler ici le défrichement, les incendies des forêts, aussi bien que les déboisements imprévoyants. La présence de nombreux *tumuli* dans les régions de landes[1] est la preuve d'une habitation dans les premiers temps, et avec cela peut-être était liée, dans l'antiquité, une agriculture, mais en tout cas l'élevage du bétail; des incendies de forêts dévastaient de telles étendues qu'on peut difficilement s'en faire une représentation; enfin aussi un déboisement imprévoyant prêtait son assistance

1. Par les recherches sur les antiquités du Jütland, que la *Direktion for de nationale Mindesmærkers Bevaring* a fait entreprendre dans les derniers temps dans les contrées de landes de Jütland, on a obtenu des renseignements authentiques sur ce fait, que dans plusieurs landes (*Harden*), même dans la région de lande occidentale la plus déserte (inculte), comme, par exemple, dans la lande de Bölling, se trouvent environ 150 montagnes et cercles de pierre sur des milles carrés; la plupart de ces monuments, qui presque tous datent de l'âge du bronze ou du fer, renferment plusieurs, quelques-uns même un grand nombre de tombeaux. (Communication du Dr S. Müller.)

à l'influence dévastatrice du vent d'Ouest, comme cela ressort de la figure 13, page 219. L'objection, que les hommes n'auraient pu utiliser tout le bois que leur aurait procuré une dévastation réelle des forêts est réfutée par la démonstration de l'existence d'une industrie de fer grandiose[1] dans le Jütland central au moyen âge ; cette industrie doit avoir eu une extension considérable, parce que les habitants payaient leurs contributions en fer et que ce métal était un article d'exportation pour le reste du pays.

Il me semble, d'après cela, qu'Emeis a fait beaucoup trop peu de cas de l'importance de l'accélération apportée par l'homme au développement des landes par la dévastation des forêts. Mais il me semble encore beaucoup plus déraisonnable de donner son assentiment à l'idée émise par Borggreve que seuls les hommes sont responsables de la formation de landes. La proposition étrange[2] : « chaque surface de lande est le résultat de la culture entreprise par l'homme, et si on la laissait en repos pendant quelques périodes décennales, elle serait à nouveau ce qu'elle était il y a des siècles et des milliers d'années, c'est-à-dire la forêt », témoigne, comme aussi les autres propositions de l'auteur, d'un défaut de connaissance de la lande. Des représentations générales, justes en elles-mêmes, sur l'effet de la lutte pour la vie que les différents groupes de végétation se livrent les uns aux autres, il tire la conclusion également juste en rapport avec les prémisses, que la forme de végétation, prédominante sur une place, est devenue seule maîtresse, à la suite d'une lutte dans laquelle d'autres organismes et des conditions extérieures étaient soit leurs alliés, soit leurs adversaires. Aussitôt que le groupement de la série des facteurs dont le résultat est la forme de végétation déterminée éprouve un changement, ou aussitôt qu'un des facteurs perd de son importance ou disparaît, alors le résultat de la lutte doit aussi être différent et la végétation autre. Cette considération est aussi juste qu'ancienne. Relativement à la végétation forestière, cela ressort de l'excellent traité de G. Heyer : « *Das Ver-*

---

1. C. Nyrop, *Dansk Jern* (*Historisk Tiddskr.* R. IV. T. VI, 1877-1882, p. 125-162).

2. B. Borggreve, *Haide und Wald* (*Lande et Forêt*). Berlin, 1879, p. 43.

halten der Waldbaüme gegen Licht und Schatten » (La façon dont se comportent les essences forestières vis-à-vis de la lumière et de l'ombre) ; dans notre littérature, des recherches de Vaupell[1] et de l'auteur lui-même[2] ; depuis l'apparition du célèbre travail de Darwin sur l'importance de la lutte pour la vie (*struggle for life*), cette considération est sans aucun doute universellement reconnue et a été confirmée tout aussi bien par des recherches spéciales que par des exposés plus généraux d'auteurs tels que Nägeli, Hooker et d'autres. Mais, ce qui me semble aussi incorrect que neuf, c'est la façon dont Borggreve fait application de la loi en question, pour montrer ce qui ressort des déductions faites sur des domaines, où la méthode d'induction pourrait être employée. De la théorie générale sur l'importance de la lutte pour la vie, Borggreve déduit ce que doit être cette condition sur les landes, au lieu de prendre comme point de départ une expérience pour en tirer ensuite la loi par induction. C'est-à-dire que l'observation aurait montré que sa loi est juste partout où nous avons seulement affaire avec une végétation de bruyère et où le sol a du reste conservé son caractère originaire de terreau, qui le rend habitable à d'autres formes de végétation. L'observation montre — il existe sur ce point beaucoup d'exemples[3] — que des surfaces portant une végétation de bruyères abandonnées à elles-mêmes se convertissent à nouveau en forêts. Mais, dans les landes typiques, s'ajoute encore un moment, que Borggreve a négligé, parce qu'il n'existait pas dans ses prémisses. Sous la domination de la végétation de bruyères, le sol est, à vrai dire, transformé de telle façon, que la lande ne peut pas d'elle-même, au moins sur de grandes étendues, se convertir à nouveau en forêt, parce que le sol n'est plus susceptible de porter d'autres formes de végétation

1. Chr. Vaupell, *Böjens Indvandring i de danske Skove,* Kbhn. 1857. *De danske Skove,* Kbhn. 1863.

2. *Om Ädelgranens Forekomst i nogle franske Skove* (*Tidsskr. f. pop. Fremst. af Naturv.* R. IV. T. III, p. 51).

3. Pour donner un exemple dans notre propre pays, nous voulons citer Bornholms « *Höilyng* », où la végétation arbustive émigre le long des bords des forêts (lisières) dans les landes portant une végétation de bruyères, mais qui ne sont pas revêtues de tourbe et ne renferment pas d'Ortstein. On pourrait citer des exemples semblables à l'étranger, particulièrement dans les contrées montagneuses.

que la bruyère jusqu'à ce que son caractère soit devenu autre, sous l'action de l'homme. Quand on a une connaissance fondamentale de l'histoire de la culture des landes, il me semble impossible qu'on puisse en tirer une autre conclusion que la suivante : il y a de grandes surfaces qui ne peuvent d'elles-mêmes se convertir à nouveau en forêt et nos recherches nous conduisent à expliquer que la cause en est dans les changements produits avec le concours de la végétation dominante même dans le sol.

Il semble donc qu'une étude fondée sur l'observation de la nature des landes montre assurément que l'intervention des hommes, conjointement avec les facteurs météoriques, est de la plus haute importance pour la production des états qui favorisent l'immigration de la bruyère dans les forêts originaires des régions de landes ; de plus, que la lutte entre les espèces végétales sur de tels emplacements a accéléré à un haut degré l'extension et la domination exclusive de la végétation des landes, ainsi que le pense Borggreve ; mais, en même temps, — ce qui ressort particulièrement des observations communiquées plus haut, — qu'il s'est accompli sous l'influence de la vie organique d'aussi importantes transformations dans la superficie du sol des landes et que c'est justement cette transformation géognostique de l'emplacement, à laquelle Emeis attribue à bon droit une grande importance, qui donne son caractère à la lande typique. A cause de cela, la formation de lande n'a pas d'analogie avec la dévastation de la forêt et la domination de la bruyère sur le terrain, mais se trouve, dans ces conditions, en rapport avec la formation de tourbe de lande. Enfin, on doit admettre avec la plus haute vraisemblance que le commencement de la formation de lande, même dans les parties montagneuses, notamment dans le Jütland oriental, date d'une époque très lointaine, et c'est à peine s'il peut s'élever quelques objections contre l'opinion souvent exprimée par Forchhammer[1], qu'une partie des landes, surtout dans les plaines, au moins sur de plus grandes étendues, n'avait jamais été recouverte de forêts, mais que la végétation qui a suivi la période glaciale s'est continuée immédiatement dans la végétation des landes

1. Voir, par exemple, Barth, *Om de danske Heder, passim,* p. 82.

sur le sol sableux le plus maigre du Jütland oriental, quoique je désire n'exprimer sur ce point aucune opinion personnelle, attendu qu'un matériel suffisant manque pour un éclaircissement positif[1].

Importance des vers de terre pour la formation de l'humus.

Lors de l'apparition de la première partie de ce travail « sur les formes de l'humus dans les forêts de hêtres sur sable et argile » en l'année 1878, on n'avait accordé jusqu'alors que très peu d'attention à la signification qu'a la vie organique pour la formation de l'humus. La direction tracée par les recherches de Liebig, dans l'étude du sol portant la végétation, avait dirigé l'attention si exclusivement vers les processus physiques et chimiques s'accomplissant dans le sol, que l'on peut dire qu'on a généralement négligé l'importance qu'a la vie animale pour la formation de la couche superficielle du sol naturel non travaillé ; car il n'existe, à ma connaissance, aucun traité d'un usage général, dans lequel on ait attaché de l'importance à cette circonstance. A la vérité, Darwin publiait déjà en l'année 1837[2], ses propres observations et les belles observations

1. Alors que ce qui précède était rédigé depuis longtemps et que le présent écrit était déjà presque entièrement imprimé, je reçus une publication du lieutenant-colonel E. Dalgas, intéressante au plus haut point, sur les forêts du temps passé et de l'avenir dans les régions de landes du Jütland (*Hedeselskabets Tidsskrift,* 1884, n° 1), dans laquelle il exprime son opinion à ce sujet en disant que les landes consistaient entièrement en forêts et que leur formation est due exclusivement à la dévastation des forêts par les hommes. Quoique Dalgas, dans son vaste exposé, cherche à démontrer l'extension extraordinairement grande des forêts sur la péninsule jütlandaise, je ne trouve pourtant aucune raison pour changer quelque chose à ce qui précède, après avoir pris connaissance des nouveaux faits cités par lui.

Quand ce connaisseur expérimenté de la lande fait ressortir (*Hedeselsk. Tiddskr.* 1883, p. 219) qu'on ne peut rendre le sol responsable de la faute de formation de lande qu'autant qu'à cause de sa stérilité il n'était pas en état de fournir à la forêt une force suffisante pour résister aux entreprises des hommes, je dois maintenir ici, qu'en négligeant les changements qui s'accomplissent dans le sol, le moment le plus essentiel de la formation de lande a échappé à son attention. Une dévastation de forêt imprévoyante peut seulement transformer le pays forestier en une steppe, la formation de tourbe doit intervenir pour faire de la steppe une lande typique.

2. *Transactions of the Geological Society*. Vol. V, 1840, p. 505.

de son beau-père, d'après lesquelles des fragments de lehm brûlé et d'escarbilles, qui étaient disséminés sur un champ, disparaissaient peu à peu à quelques pouces au-dessous de la superficie, comme s'ils avaient été couverts par des excréments de vers de terre, et Hensen, ainsi que quelques autres[1] avaient fait d'intéressantes communications sur le mode d'existence du grand ver de terre et particulièrement sur la circonstance qu'il pouvait approfondir le fonds pour les plantes en croissance sur un sol travaillé; mais, le premier, von Post a appelé l'attention sur ce fait que les couches d'humus, pour ainsi dire partout où elles existent, sont d'origine koprogène. Cet observateur qui a traité avec une si grande clarté la question des différents dépôts provenant dans les eaux douces de la vie organique, a été pourtant moins heureux dans son exposé des formes d'humus sur le sec et l'importance des vers de terre lui avait tout à fait échappé. En l'année 1878, il n'existait donc, en dehors des communications de Hofmeister, Hensen et de quelques autres auteurs sur la signification des vers de terre, pour l'aération, l'approfondissement du sol, à vrai dire seulement une observation de Darwin, datant de 40 ans, sur le rapport qui peut exister à certaines places entre les vers de terre et la couche de terreau du sol; mais ses cinq observations, y compris celles de son beau-père, étaient trop isolées; elles furent en premier lieu traitées de curiosité historique, on n'y attachait pas une plus grande signification et, dans la science générale des sols, elles n'étaient pas admises dans la dernière période. L'auteur du présent écrit pouvait bien, par conséquent, penser à entreprendre son travail, sur une base certaine dans un domaine presque inconnu et devait d'après cela établir ses opinions et faire ses observations avec une prudence et une retenue qui lui ont plus tard été à charge.

Dans les cinq dernières années, la connaissance de cette question a pourtant été grandement augmentée par les excellentes recherches de Darwin[2]; celles-ci ont donné naissance à de nombreux commen-

---

1. Comparez p. 145.

2. C. Darwin, *The formation of vegetable mould* (*la Formation du terreau végétal*). London, 1881.

taires et Hensen[1] y a ajouté quelques jolies observations, si bien que les vues émises par l'auteur en l'année 1878, sur l'importance des vers de terre pour la formation de l'humus, sont élevées maintenant, malgré son nom peu connu, surtout grâce à la puissante autorité de Darwin, à la hauteur d'une théorie généralement reconnue et combattue dans ses traits principaux par un petit nombre seulement[2].

Dans la partie des recherches de Darwin qui a le plus de rapport avec notre sujet principal, il faut d'abord citer ses vastes études sur le mode d'existence des vers de terre, qui ont éclairé d'une façon intéressante et pleine d'importance l'influence de ces animaux sur la croûte terrestre. « Leur œuvre principale », dit-il, « consiste à séparer les particules du sol plus fines des particules plus grossières, à mélanger le tout avec des éléments végétaux et à saturer cette masse avec des excrétions provenant de leur canal digestif[3]. » Les vers sont omnivores ainsi que je l'ai déjà publié dans la première partie ; Darwin a vu qu'ils ont consommé non seulement la feuille tombée et d'autres substances d'origine végétale, mais aussi de la viande crue, de la graisse, des vers morts[4], etc. ; il pense aussi qu'ils détruisent la terre pour en tirer leur nourriture[5]. Malgré la série d'observations et d'arguments sur laquelle Darwin base cette dernière opinion, je dois pourtant partager les doutes émis à ce sujet par Claparède[6] et Hensen[7] ; bien que ce point soit bien loin d'être suffisamment éclairci, l'hypothèse la plus vraisemblable me paraît

---

1. V. Hensen, *Ueber die Fruchtbarkeit des Erdbodens in ihrer Abhängigkeit von den Leistungen des in der Erdrinde lebender Würmer* (*Sur la fertilité du sol dans sa dépendance des travaux des vers vivant dans la couche superficielle de la terre*). [H. Thiel, *Landw. Jahrb.* Berlin, 1882, p. 661.]

2. Voyez pourtant Emeis dans le *Vereinsblatt*, etc., 1879, p. 141, et Borggreve dans son commentaire de la traduction faite par Metzger de : *Nogle Träk af Skovens Naturhistorie*, commentaire que je connais seulement par une citation de Hensen, *passim*, p. 696. Aucun de ces auteurs ne cite un argument contre mon explication.

3. *The formation*, etc., p. 174.

4. *Passim*, p. 109.

5. *Passim*, p. 100-109.

6. Claparède, *Recherches histologiques sur le ver de terre* (*Histologische Untersuchungen über den Regenwurm*), p. 607 (*Zeitsch. f. wiss. Zool.* T. XIX, 1869).

7. *Ueber die Fruchtbarkeit, u. s. w.* (*Sur la fertilité, etc., passim*, p. 685).

être que le principal aliment des vers de terre consiste en restes végétaux et animaux, morts, surtout à moitié décomposés. Mais ceux-ci peuvent exister aussi dans la terre elle-même et une comparaison entre un sol portant une végétation qui est habité par les vers de terre et un pareil sol dans lequel ne se trouve aucun ver de terre, fait ressortir quelle différence extraordinairement grande s'accuse dans la teneur des deux en racines végétales mortes, qui, aux places où il n'y a pas de vers de terre, forment souvent un feutre véritable dans la croûte terrestre. Je tiens comme au plus haut point vraisemblable que, quand des vers de terre dévorent de la terre pour en tirer leur nourriture, le procédé consiste en ce qu'ils consomment la masse entière des déchets organiques, des parties souterraines de la végétation. Une connaissance plus exacte des matières humiques proprement dites du sol et des combinaisons dans lesquelles on les trouve rend moins vraisemblable, que des animaux d'une organisation aussi supérieure que les vers de terre, devaient être indiqués comme tirant leur nourriture de ces matières.

Au contraire, il ne peut exister aucun doute sur le fait que le ver de terre, en partie pour se procurer sa nourriture, en partie pour se tracer un chemin dans la terre et construire les galeries dans lesquelles il s'arrête, engloutit tant de terre que, ainsi que le pense Darwin, la masse entière du terreau qui se trouve sur un champ, a passé, dans le cours de peu d'années, à travers le canal digestif du ver de terre [1]. Il appuie cette manière de voir sur une grande quantité d'observations, de calculs et de pesées d'excréments de vers de terre, etc. [2], ce qui l'a amené à conclure que ces excréments sont apportés sur la superficie en une telle quantité que, au cours de dix ans, ils peuvent recouvrir le sol d'une couche de terreau d'environ 2 pouces ($0^{m},0523$) d'épaisseur.

J'ai déjà fait ressortir que cette activité peut rendre la couche du sol dans laquelle vivent les vers de terre meuble et poreuse ; de plus, il en résultera la formation du mélange intime de matières humiques et d'éléments minéraux, que nous avons appelé terreau

1. *Passim,* p. 243 et à d'autres endroits.
2. *Passim,* chap. III.

(*Mull*) et enfin, là où les grands vers de terre creusent, il s'accomplira un approfondissement très important du terrain, d'où il résulte que la teneur de celui-ci en principes nutritifs sera augmentée, pendant que se formeront des canaux qui conduisent l'air et l'eau dans le sous-sol, si bien qu'aussi celui-ci, — ce qui ressort clairement notamment des observations de Hensen, — peut être rendu accessible aux racines des plantes.

Sur ce domaine, la dernière œuvre de Darwin apporte à vrai dire seulement, par la grande série d'observations précieuses, une nouvelle confirmation de lois déjà connues ; mais en étendant ses recherches sur l'influence des sucs digestifs du ver de terre exercée sur la nature chimique du sol, il en tire un nouveau moment d'une haute signification pour la manière d'interpréter l'activité de cet animal. Sans apporter directement une nouvelle contribution à l'anatomie et à la physiologie des vers de terre, il montre principalement, par l'application des recherches faites par d'autres sur ce sujet, qu'il éclaire par ses propres observations biologiques, que les sucs digestifs de ces animaux contribuent à un haut degré à neutraliser les acides formés par la fermentation et la putréfaction des matières végétales notamment les acides humiques.

Aux longs tubes digestifs des Lumbricines, se trouve un groupe connu depuis longtemps de trois paires de glandes qui, d'après les recherches de Claparède[1], séparent la chaux, à la vérité en petites agglomérations ou cristaux, qui sont mélangés avec les végétaux décomposés et passent avec ceux-ci en même temps à travers l'intestin, en partie à l'état d'un lait de chaux, qui est mélangé avec la nourriture. Quoique Perrier[2] ait quelque peu pensé à indiquer le contenu de cette glande comme chaux, Darwin[3] se range pourtant tout à fait à l'avis de Claparède, qui aussi, d'après tout ce qui précède, mérite qu'on y ajoute foi ; il accorde à cette matière une très grande importance pour l'influence des vers de terre sur la formation du terreau et il ajoute que, d'après la richesse du sol en

1. *Passim,* p. 602-608.

2. Perrier, *Études sur l'organisation des Lumbricines terrestres,* p. 422 (*Archives de zool. expér.* T. III, 1874).

3. Darwin, *The formation,* etc., p. 43-54.

chaux, il n'existe aucune différence essentielle dans le contenu des glandes.

Mais, en dehors de cette séparation du corps basique des glandes de chaux, des sucs à réaction alcaline sont apportés à l'aliment par tout le canal digestif. Déjà, le suc que le ver déverse sur les feuilles et analogues qu'il entraîne avec lui dans sa galerie, avant qu'il les détruise, — la digestion commençant pour ainsi dire en dehors du corps de l'animal — est alcalin [1]; mais on doit de plus admettre que le suc digestif des vers de terre, dont l'effet est analogue à celui du suc gastrique chez les animaux supérieurs, est alcalin comme celui-ci, parce que Darwin croit oser conclure que, de même que chez ces organismes où l'activité de digestion n'a pas exercé sa force, sous l'influence du suc gastrique, s'il n'existe pas d'alcali, ainsi les sécrétions des glandes calcaires doivent intervenir chez les vers de terre, pour que les parties du canal digestif qui se trouvent derrière ces organes puissent préparer la nourriture. Enfin, en partie les recherches de Darwin, en partie les analogies tirées par lui sur des animaux plus élevés, phytophages, rendent au plus haut point vraisemblable que l'état de fermentation dans lequel tombent les aliments végétaux après leur destruction, a beaucoup de points communs avec l'humification et que par cela il se produit dans chaque cas un excès, qui est neutralisé soit en partie, soit complètement par un supplément de bases, fourni par le canal digestif.

Ce moment important pour la façon d'interpréter la signification des vers de terre pour la formation du terreau, que tout d'abord Darwin a suffisamment fait ressortir, a jeté une lumière de la plus grande importance sur la quantité différente trouvée par moi d'acides dans les dépôts humiques formés avec ou sans le concours des vers de terre ; mais, en tous cas, il donne la même explication pour l'un

---

1. Darwin s'appuie ici sur des recherches de Fredericq, qui permettent de conclure que le suc digestif des Lumbricines est proche parent de la sécrétion du pancréas des vertébrés (*Archives de zoologie expérimentale.* T. VII, 1878, p. 394), ce qui, à franchement parler, n'est pas tout à fait confirmé par les études de Kruckenberg (*Vergleichend-physiologische Studien.* Heidelberg, Reihe I, p. 60, *Études physiologiques comparatives,* série I, p. 60), qui laissent moins de doute sur ce fait qu'un supplément d'alcali est nécessaire à la digestion des vers.

des facteurs qui font que du terreau proprement dit ne renferme en général pas d'acide humique libre, comme les couches tourbeuses qui n'ont pas traversé le canal intestinal des animaux, notamment des vers de terre. D'après cela, l'œuvre de Darwin prête un appui basé sur une série très considérable d'observations et de recherches à la justification de l'idée formulée par nous, dans la première partie de ces études, que toute la signification pour la formation du terreau doit être attribuée aux vers de terre, alors que pas une de ses observations ne parle contre.

Mais, sur d'autres points encore, de nouvelles observations de Darwin offrent un appui à notre recherche ; nous voulons faire ressortir aussi deux observations qui sont d'une importance plus grande pour le sujet traité par nous. Il dit[1] : « Lorsqu'on mettait des vers dans plusieurs vases à fleurs remplis avec du sable fin ferrugineux, on avait la démonstration que l'oxyde de fer qui recouvrait les grains de sable était dissout » (en traversant le canal intestinal des vers de terre), et plus loin[2] :... « Nous devons d'après cela tirer la conclusion que l'acide qui se trouve dans le canal intestinal des vers » (dans la masse contenue dans ce canal) se forme pendant le phénomène de la digestion et, vraisemblablement, c'est bien le même, que celui qui existe dans l'humus ordinaire. Il est cependant bien connu que le dernier a le pouvoir de réduire l'oxyde de fer ou de le dissoudre, ainsi qu'on peut le voir là où la tourbe repose sur du sable rouge ou bien là où une racine pourrie monte à travers un pareil sable.

J'ai placé quelques vers dans un pot, rempli avec un sable consistant en petits grains de quartz très fins, rougeâtres, enveloppés d'oxyde de fer, et les galeries que les vers avaient creusées dans ce sable, étaient à la façon ordinaire remplies de leurs excréments, qui consistaient en sable mélangé avec des sécrétions de l'intestin et le résidu de la feuille digérée ; ce sable avait tout à fait perdu sa couleur rouge. Quand on porte sous le microscope de petites parties de cette matière, on vérifie que la plupart des grains, par suite de

1. *The formation*, etc., p. 52-53.
2. *Ibid.*, p. 240-241.

la dissolution du fer, sont devenus transparents et incolores. L'acide acétique exerce à peine une action sur ce sable et même les acides chlorhydrique, azotique et sulfurique étendus[1] n'ont pas la même action que l'acide formé dans le canal intestinal du ver. »

Darwin livre ici par la voie de l'expérience et de la recherche microscopique une confirmation de l'interprétation citée plus haut des couches analogues au sable plombifère, trouvées çà et là dans les forêts de chênes et sur les landes, sous le terreau de broussailles (*Gestrüppmull*) où aucune formation d'Ortstein ne sépare le sable blanc du sous-sol. Le travail de la vie animale même est, sur ce sol sableux maigre, la cause du lavage du fer et la couche qui était décolorée est précisément celle qui était le lieu de l'activité des vers de terre et qui, d'après Darwin, « était passée plusieurs fois à travers le corps des vers[2] ».

Il fait remarquer plus loin que les vers de terre qui dévorent la terre sont pourvus de une ou plusieurs gorges munies d'une peau de chitine épaisse et d'une couche de muscles puissante, qui, quand le ver prend à lui avidement sa nourriture, sont remplies de petites pierres, servant comme chez les poules, à triturer et à pulvériser la nourriture. De ces conditions de structure chez les vers de terre, aussi bien que de la circonstance que leurs excréments existent en grande partie à l'état d'une poudre fine, Darwin conclut certainement avec plein droit que la digestion du ver n'opère pas seulement un travail chimique de la terre[3], mais aussi un travail mécanique, en pulvérisant ces petits corps minéraux, ou, en d'autres termes : le canal digestif des vers de terre augmente la terre fine. Enfin Darwin indique en passant leur importance pour la formation du salpêtre dans le sol, sur laquelle j'espère revenir dans la troisième partie de ces études.

Si peu considérables que puissent être les effets du travail d'un seul ver de terre, il ne peut y avoir rien d'invraisemblable à ce que la somme d'un grand nombre de petites forces produise un résultat aussi plein d'importance, quand on réfléchit à la grande quantité de

1. Dissolutions faites suivant les données de la Pharmacopée.
2. *Passim*, p. 236.
3. *Passim*, p. 246.

vers[1] qui peuvent se trouver sur une surface — et Darwin ajoute des recherches nouvelles faites sur le même sujet que celles d'Hensen, les miennes[2] et celles d'autres auteurs — et si l'on se rappelle que les vers de terre travaillent seulement la superficie de la terre jusqu'à une profondeur de 4 à 12 pouces (0^m,1046 — 0^m,3138), quoique sous certaines conditions de températures, particulièrement en hiver, ils descendent dans la couche profonde du sous-sol, et les galeries d'habitation de quelques espèces s'étendent si profondément pendant toute l'année ainsi que l'ont démontré particulièrement les recherches de Hensen[3]. De la conclusion de Darwin sur l'effet du travail des vers de terre, nous citons ce qui suit, qui mentionne tout particulièrement la présente recherche : « Quand nous voyons une vaste étendue recouverte d'humus, nous devons être portés à penser qu'elle doit sa fertilité, dont sa beauté dépend à un haut degré, principalement à la circonstance que les différents éléments dont le sol est composé, sont longtemps travaillés par le fouillement des vers de terre. C'est une conception particulière que toute la couche d'humus de la superficie est conduite sur une pareille étendue par les corps des vers et en un petit nombre d'années passe de nouveau à travers ceux-ci[4].

Maintenant se pose la question de savoir si le riche matériel d'observations du célèbre savant livre une démonstration bien valable

---

1. Par une transformation des deux mots danois « *Dusin* » (*Dutzend*) et « *Tusind* » (*Tausend*), Hensen est arrivé à m'attribuer une curieuse exagération du nombre des vers de terre. Il dit dans son traité, *Ueber die Fruchtbarkeit, etc.*, p. 677 : parfois Müller a ramassé sur un pied carré mille *L. purpureus*, mais, dans mon texte « *Ueber Buchenmull, etc.* », il est écrit, p. 23 : J'ai pu les rassembler souvent par douzaine sur un pied carré.

2. Sur une surface bien nettoyée dans un bosquet du jardin de l'École supérieure d'agriculture de Copenhague, j'ai compté, dans l'automne de 1881, le nombre de galeries de vers fraîches avec des excréments récemment rejetés, qui se trouvaient sur un morceau de terre de 72 pieds carrés ; le résultat fut que 318 galeries venaient sur un pied carré, ou moins que ce que j'ai trouvé plusieurs fois dans les forêts. Ces galeries provenaient évidemment toutes du grand ver de terre ; seulement le nombre des vers même a pourtant, d'après l'observation faite par Hensen qu'un ver peut avoir plusieurs galeries de son habitation, été un peu moindre.

3. Voyez le mémoire de Hensen, *Ueber die Fruchtbarkeit, etc.*, p. 664 et 675.

4. *Passim*, p. 313.

pour la justesse de cette conclusion. Il a un plus grand matériel que nulle part aucun autre pour l'interprétation du mode d'existence des vers de terre et l'effet produit par leur activité et par cela même agrandit à un haut degré le domaine de nos connaissances sur le travail accompli par les vers de terre ; mais il n'a pas livré la preuve contraire : la description de l'état du sol, où les vers de terre ne sont pas actifs et encore moins une explication de l'extension de ces animaux et de la différence dans le travail produit par chaque espèce en particulier. Ses propres observations concernent certainement presque exclusivement deux grandes espèces de vers de terre, qui apportent des excréments à la superficie de la terre[1] ; c'est à peine s'il mentionne d'autres formes.

Il reste donc à accomplir un vaste travail, avant que ces lacunes dans les recherches de Darwin soient comblées, mais on doit faire ressortir que nos observations ont apporté des contributions à l'éclaircissement de la première question, en ce sens que notre conclusion, que le terreau est formé là où les vers de terre exercent leur activité dans une plus grande sphère et la tourbe là où ils manquent, contribue à notre avis à compléter les recherches de Darwin ; nous croyons que les études sur la formation de tourbe, leur cause, leur nature, leur extension et leur influence sur les couches superficielles de la terre sont des moments aussi importants pour la compréhension de la vie animale que des recherches sur celle-ci.

Quoique d'après cela il semble avoir échappé à l'attention de Darwin que de grandes étendues de la superficie du sol ne sont pas habitées par les vers de terre et que l'absence de cette forme animale donne au paysage son caractère d'une façon si grandiose, nous devons pourtant citer le petit nombre de données sur l'extension des vers de terre communiquées par Darwin dans son ouvrage, parce qu'elles concordent tout à fait avec nos observations et contribuent à éclairer son œuvre.

Darwin dit (page 9) : « Les vers de terre s'étendent en Angleterre à beaucoup de places différentes. Leurs excréments se trouvent en une quantité extraordinaire sur les pâturages et sur les champs de

1. *Passim*, p. 9.

sol calcaire si bien qu'ils recouvrent toute la superficie où la terre est pauvre et l'herbe courte et grêle ; mais, ils sont presque aussi nombreux dans quelques parcs de Londres, où la croissance du gazon est bonne et où le sol paraît être riche. Au contraire, les vers sont plus fréquents sur un endroit que sur un autre, sans qu'il y ait une différence visible dans la nature de la terre. Ils sont présents en grande masse dans les cours pavées tout contre les maisons, et on raconte qu'ils ont brisé le sol dans une cave très humide. J'ai vu des vers dans de la terre noire de marais sur un champ bas placé ; mais ils sont extraordinairement rares ou même n'existent pas dans la tourbe brune, filamenteuse et sèche, si hautement estimée par les jardiniers[1]. Sur les étendues sèches, sableuses ou graveleuses, où en dehors du genêt, de la fougère, de l'herbe ordinaire et de la mousse, il ne croît que de la bruyère, c'est à peine si l'on trouve un ver. Mais, dans beaucoup de régions de l'Angleterre, où un sentier court à travers une lande, la superficie de celle-ci est recouverte d'un gazon sauvage incomplet et chétif. Je ne sais pas si cette différence dans la végétation provient de la circonstance qu'elle anéantit les plus grandes plantes par la pulvérisation par les hommes et les animaux, ou bien de ce que le sol est amélioré par la fumure des animaux, mais à de telles places recouvertes d'herbe, on peut trouver souvent des excréments de vers de terre. Sur une lande dans Surrey, qui a été soigneusement examinée, se trouvaient seulement une petite quantité d'excréments sur de tels sentiers, quand ils étaient très raides ; mais sur les surfaces plus plates, sur lesquelles une couche de terre fine est amenée par limonage des places plus escarpées et amoncelée dans une épaisseur de 2 pouces (0^{m},0523), se trouvaient d'abondants excréments de vers de terre. Ces places paraissaient être tellement peuplées de vers que ceux-ci étaient obligés de pénétrer, du sentier gazonné, à quelques pieds plus loin dans la lande et ici des excréments étaient jetés entre la bruyère ; mais à l'extérieur de cette limite, on ne pouvait trouver aucun excrément de ces animaux. Je crois qu'une couche de terre fine,

1. Darwin pense évidemment, dans le présent écrit dont on parle, à la tourbe formée sur le sec.

même mince, qui vraisemblablement conserve longtemps une certaine humidité, est en tout cas nécessaire à leur existence et seule la compression de la terre semble leur être favorable à un certain degré, car ils sont souvent présents en grande quantité sur les anciens chemins caillouteux et sur les sentiers des prairies. Sous les arbres à couronnes larges, on ne trouve que peu d'excréments de vers à certaines époques de l'année, ce qui vraisemblablement tient à ce que l'humidité du sol a été aspirée par succion par les nombreuses racines du sol, car on voit de telles places recouvertes d'évacuations après les fortes averses de pluie ; quoique la plupart des broussailles et forêts donnent asile à un grand nombre de vers, pourtant dans un peuplement de hêtres haut et vieux dans le parc de Knole, où le sol était, sous les arbres, dépourvu de toute végétation, même dans les mois d'automne, sur de grands espaces on ne trouvait aucune trace d'excréments ; néanmoins, sur les clairières recouvertes d'herbe et les bas-fonds il se trouvait de nombreuses évacuations [1]. »

On voit que ces communications sur l'apparition des vers de terre dans les contrées de landes et les forêts, aussi loin qu'elles s'étendent, concordent pleinement avec nos propres observations. Quoique Darwin ne s'explique pas particulièrement sur l'influence exercée par le degré d'humidité ou l'isolation de l'emplacement sur l'existence des vers de terre, il ressort pourtant, abstraction faite des places décrites ici, en même temps d'autres points de son mémoire que la sécheresse lui est défavorable [2].

Cela ressort encore plus clairement des recherches de Perrier. Après avoir indiqué [3] le temps que des vers de terre peuvent vivre dans l'eau pure, quand celle-ci est souvent renouvelée, pour apporter de l'air aux vers, il cite une expression de William, qui considère ces animaux comme ayant à un degré essentiel une organisation d'animaux aquatiques aptes à mener « une existence quasi terrestre ».

---

1. Aussi à d'autres endroits (p. 144-145), il parle d'un emplacement où des vers de terre manquent dans une forêt de hêtres.

2. *Passim,* p. 12, 13, 164, et à d'autres endroits.

3. *Passim,* p. 372.

« Je dis », poursuit-il, « quasi terrestre, car ces animaux peuvent vivre seulement dans une atmosphère saturée d'humidité ; la sécheresse leur est sans comparaison plus préjudiciable qu'une couverture parfaite d'eau ; il suffit de les exposer pendant quelques heures à l'air frais pour les tuer. Tous ceux qui s'échappent du vase rempli de terre humide, dans lequel on peut les conserver vivants indéfiniment, meurent au bout de peu de temps et on peut les trouver sur la terre tout à fait desséchés et durs comme la corne ; une nuit suffit pour produire leur complète dessiccation. » D'après cela on comprendra sans difficulté que les vers de terre doivent périr quand l'écran de la forêt disparaît et que le sol, dans les périodes chaudes et sèches, se dessèche par l'action immédiate du soleil et du vent la plus grande humidité produite par la formation de tourbe dans la couche superficielle de la terre pendant la saison humide ne pourra pas y remédier.

Le plus récent travail de Hensen sur les vers de terre est essentiellement une étude critique et ne renferme qu'un petit nombre d'observations nouvelles, qui d'ailleurs ont un intérêt important pour notre connaissance de la biologie de ces animaux, mais qui traitent principalement un autre côté de leur activité, que celui que nous avons eu surtout en vue ici, c'est-à-dire l'approfondissement de la couche du fonds produit par eux.

Cet auteur se rallie tout à fait à la conception de Darwin et à la mienne sur la signification des vers de terre pour la formation du terreau, mais il m'adresse le reproche d'avoir porté mon attention en dépit des recherches de Darwin et de mes propres observations, principalement sur l'existence des vers de terre dans les broussailles de landes, « ce qui donne une impression décisive lorsqu'on arrive enfin à tout ce qui concerne les vers de terre », d'admettre la théorie de Darwin que le terreau passait à travers le canal intestinal des vers de terre et que la terre était produite par ces animaux ; il ajoute que personne encore n'a fourni la démonstration de l'existence d'une autre sorte de formation de ce mélange meuble. De plus, Hensen néglige deux moments importants.

Premièrement il se rend coupable d'un anachronisme : Lorsqu'en l'année 1878 je considérais comme juste de faire ressortir expressé-

ment les idées qui s'étaient élevées contre mon interprétation [1], les nouvelles recherches de Darwin n'existaient pas encore et mes propres observations sur l'apparition des vers de terre dans les broussailles de chênes n'avaient pas encore été faites ; elles furent publiées seulement un an plus tard [2]. Ce qui a paru dans ces derniers temps pour l'éclaircissement de cette question a eu pour résultat qu'on devait s'exprimer avec beaucoup plus de prudence et de retenue, qu'il m'avait semblé nécessaire en l'année 1878, bien que je doive aussi soutenir que plus d'un point essentiel concernant cette chose reste encore sans être éclairci. Cela est valable notamment pour la question de savoir si la formation de la couche superficielle du sous-sol, désignée dans cet écrit par *Obergrund* et comptée en partie par Darwin comme terreau, provient d'un dépôt fait par les vers sur le sol d'origine ou seulement d'un travail du sol sans fin, exécuté par ces animaux. Quelques emplacements, même avec une puissance considérable de la couche superficielle du sous-sol, à cause de l'état de très fine division de la terre et de l'absence de pierres, parlent en faveur de la première hypothèse ; sur d'autres emplacements elle paraît tout à fait insoutenable et au contraire la dernière semble nécessaire. Aussi longtemps que nous n'aurons pas une connaissance plus exacte de l'activité et l'exception de chaque espèce en particulier — c'est-à-dire que nous ne pourrons pas négliger avec la même légèreté que Darwin la différence qui en résulte dans la croûte terrestre — aussi longtemps un moment important pour la compréhension de la vie animale sur la nature du sol restera obscur. Mais cela ne concerne à aucun degré essentiel la question de savoir si l'on doit attribuer aux vers une importance décisive pour la formation du terreau meuble ; car cette question se laisse très bien tirer au clair par un examen de la substance même, qui montre que le terreau naturel consiste principalement en excréments de vers frais et en décomposition. Pourtant, je crois que Hensen commet une erreur, quand il pense qu'il n'y a pas d'autre origine du mélange meuble, qu'on nomme *Mullerde* (terre de terreau), car je crois fermement

1. Comparez, p. 165 et 166.
2. *Nogle Träk af Skovens Naturhistorie, etc.*

avec certitude, qu'on peut obtenir un résultat tout à fait analogue par un travail artificiel. Dans les pépinières sur la lande, où il n'y a pas de vers de terre et qui pendant une série d'années sont creusées et fumées avec de la marne, de l'argile, des cendres de tourbe et des récoltes de lupins la superficie est formée d'un mélange de terre, qui semble en apparence parfaitement analogue au terreau naturel.

Le second point auquel, à ce qu'il me semble, Hensen a attaché moins d'importance qu'il n'en mérite, est la circonstance que mes recherches se rapportent seulement aux différentes formes de la croûte de terre naturelle, qui, à ma connaissance, n'a été jusqu'ici l'objet d'aucune recherche du même genre. Le premier petit mémoire de Darwin, paru dans le Recueil de la Geological Society, concernait seulement deux emplacements très restreints qui avaient reçu un traitement tout à fait particulier, et le Traité de Hensen se rapportait seulement à la terre de son jardin, etc., tandis que mes recherches portaient sur de grandes étendues de forêts et de landes du Danemark, dans différentes provinces et embrassaient seulement le pays qui, autant qu'on pouvait en juger, n'avait jamais été travaillé de main d'homme et où la nature se présente devant nous sans, pour ainsi dire, avoir jamais été troublée. On doit certainement faire remarquer à ce sujet que des observations de Hensen et de Darwin publiées autrefois pouvaient à la vérité servir d'appui à mes conclusions ; c'est ainsi que je les ai utilisées, mais pas pour en démontrer la justesse ; en outre, les emplacements que nous avions étudiés et les conditions dans lesquelles nous avions travaillé étaient par trop différents. Sur le fait que la présence ou l'absence d'une vie animale, particulièrement des vers de terre, dans les couches superficielles de la terre, conditionne, souvent à une profondeur de plusieurs pieds, leur caractère différent et a une signification prépondérante pour la flore de la contrée en question, pas plus Darwin que Hensen n'avait livré nulle part une observation, lorsque mon mémoire parut en l'année 1878. Voilà pourquoi je considérais comme tout à fait juste d'affirmer seulement avec circonspection l'existence d'un travail grandiose et énergique des vers de terre, car à ma connaissance, ce fait avait échappé jusque-là à l'attention d'autres.

Enfin, Hensen tire des analyses d'excréments de vers de terre et de terre que j'ai communiquées, une conclusion qui exprime tout à fait le contraire des résultats tirés par moi de ces analyses, quand il m'objecte d'abord que j'ai passé sous silence quelques analyses semblables faites par lui, qui seraient un appui beaucoup meilleur à mes lois. L'honorable auteur me fait tort à nouveau. Il ressort clairement du texte de mon ouvrage, que l'importance principale a été attribuée à ce fait qu'une partie des excréments de vers de terre est de la terre réelle, avec le même rapport entre les éléments fins et grossiers que dans le sol naturel; en outre, je n'ai pas du tout trouvé surprenant que la perte au rouge des excréments fût plus grande que celle de la terre environnante, parce qu'ils étaient mélangés avec des restes de plantes dures non digérés, en partie en fils, en partie en éléments végétaux sous forme de fragments, comme les écailles de bourgeons, etc., qui, selon toute apparence, doivent être encore plus macérés, avant de pouvoir être complètement travaillés par l'intestin de l'animal. Hensen a voulu établir par ses analyses quelque chose d'absolument différent, c'est-à-dire que les excréments des vers de terre contiennent tout à fait la même quantité de matière organique que le terreau. Mais, comme ses échantillons de terre étaient prélevés sur une couche de pommes de terre dans un jardin, où par conséquent la terre avait été fortement travaillée à main d'homme, et représentait un emplacement absolument différent du sol forestier naturel examiné par moi, cette analyse n'a donc eu qu'une importance restreinte pour mes conclusions. La teneur des excréments de ces animaux en substance organique doit être au plus haut point différente, suivant l'aliment que l'emplacement leur offre, mais les éléments inorganiques dans les évacuations doivent avoir approximativement le même caractère que le sol environnant et c'est sur ce point que je voulais attirer l'attention en communiquant les analyses en question.

APPLICATION.

Travail du sol.

Abstraction faite des différences produites dans le caractère de nos couches de terre alluviales et diluviales par un changement dans la quantité d'argile et de chaux, les états dans lesquels se trouve la croûte terrestre dans des conditions naturelles peuvent se ramener, en général, à trois types principaux : le sol de terreau, le sol recouvert de tourbe et le sol dépourvu d'humus. Nous voulons, dans la troisième partie de ces études[1], observer de plus près la dernière forme de la superficie et nous borner ici à coordonner, en vue de l'application pratique, ce que nous ont appris sur les deux premières formes les deux précédentes parties.

On avait déjà été amené, après la première série d'études, à conclure que le travail de la croûte terrestre par la vie animale a une importance prépondérante pour la fertilité du sol naturel, et la seconde partie de nos études apporte, à notre avis, outre la confirmation de la loi ci-dessus mentionnée, plusieurs contributions assez importantes pour son interprétation plus exacte.

Comme le travail du sol est considéré seulement, au point de vue de l'œuvre de régénération, comme appartenant à la méthode d'exploitation des forêts, le forestier a dû manquer d'un moyen puissant pour obtenir le développement et la fertilité du sol, ce qui perdait d'autant plus d'importance que la couche superficielle du sol d'un pied ($0^{m},3138$) est exposée à des changements qui ont à peine une même étendue dans la terre arable. La couche superficielle de la terre est dans le sol naturel celle qui change le plus facilement et, pour la traiter d'une façon rationnelle, il est, à notre avis, indispensable de posséder une connaissance exacte de l'origine de leurs formes différentes et de leur existence, aussi bien qu'un haut degré de finesse et de sûreté pour l'application pratique.

Le pouvoir absorbant de la terre de forêt n'a été jusqu'ici, à notre

---

1. Pas encore publiée.

connaissance, l'objet d'aucune recherche, et ce que nous avons communiqué ici n'est pas assez vaste pour fournir plus que des indications ; mais celles-ci paraissent être vraiment instructives.

On voit surtout par là que le pouvoir absorbant du terrain superficiel dans le sol naturel n'est en aucune façon très grand, ainsi qu'on l'admet d'ordinaire et qu'il est lié à un degré essentiel à une forme favorable de matière humique mélangée, notamment aux humates neutres et alcalins. Toute transformation du bon terreau meuble doit réagir sur le pouvoir absorbant du sol et par suite aussi sur sa teneur en principes nutritifs des plantes, c'est-à-dire sur sa fertilité.

Il n'y a aucune époque dans la vie d'un peuplement, dans laquelle le sol soit plus fortement atteint que pendant la régénération, et c'est pour cela que nous voyons si fréquemment que pendant cette période un sol forestier fertile, par suite d'une méthode de traitement déraisonnable, est transformé en une surface de culture qui exige les plus grands efforts, jusqu'à ce qu'elle soit à nouveau recouverte d'un bon massif. A cela contribue certainement, à un degré assez considérable, la limitation du pouvoir absorbant résultant des changements dans la marche irrégulière de l'humification.

Tandis qu'ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut, nous pensons reléguer dans une troisième partie nos études sur les emplacements, sur lesquels le changement résultant d'un dégarnissement imprévoyant du sol en forme de terreau amène une destruction des éléments humiques de la terre, nous voulons ici observer de plus près les emplacements sur lesquels la transformation consiste principalement en un plus grand développement d'humus.

La transformation prend ce cours, particulièrement sur un sol pauvre en chaux, comme la plupart de nos terres forestières sableuses, qui en vertu de leur caractère d'origine, à cause du manque d'argile ferrugineuse, ne possèdent pas un pouvoir absorbant élevé, ou enfin sur les places où la quantité de cette matière a été très amoindrie par le lavage. De telles terres qui sont le plus exposées à la formation de tourbe, devront donc fournir aux jeunes plantes le sol qui a le pouvoir absorbant le plus faible et par suite aussi le sol le plus pauvre.

Mais cette notion montre au praticien la voie à prendre pour remédier au mal, enfin, une fumure avec la chaux restreindra ou ralentira le développement d'acides humiques libres, et un travail profond, exécuté par exemple au moyen des charrues, conduira plus fortement les éléments absorbants à la croûte terrestre.

Mais le travail lui-même sera le plus sûr moyen d'amoindrir la formation d'acides humiques libres ; car l'humification tourbeuse ne s'accomplit pas avec l'interception de l'air, et là où il ne s'agit pas de couches de sable plombifère puissantes et stériles, certainement le travail suffira à obtenir le pouvoir absorbant et avec cela un côté important de la fertilité du sol. Le résultat favorable connu, qu'on obtient en général, quand on apporte de la terre de forêt avant l'ensemencement ou la plantation, qu'on la travaille et qu'on a obtenu dessus une ou deux récoltes de céréales, ou bien lorsqu'on travaille la terre entre les lignes de plantes, doit être, sur le sol maigre, attribué certainement en partie à cette condition. Là où existent déjà des formations de tourbe moins fortement développées dans des peuplements de hêtres à régénérer, il est à peine possible d'obtenir un résultat moyennement satisfaisant, sans un travail plusieurs fois répété conjointement avec une fumure calcaire, comme cela arrive dans quelques-uns de nos districts forestiers[1].

Mais le travail n'est pas seulement nécessaire pour donner au sol la fertilité, mais aussi pour le rendre habitable par les arbres dont les racines exigent pour leur croissance une terre meuble.

Nous avons vu quel changement important subit la consistance de la terre, aussitôt que la population travailleuse des vers de terre disparaît. Quand le sol renferme 5-10 p. 100 de lehm ou plus, la couche supérieure du sous-sol peut, jusqu'en haut de la croûte terrestre, devenir, ainsi qu'on l'a remarqué, aussi dure que le *Thonortstein;* en tous cas elle est très compacte et ferme. Cela se reconnaît, comme on sait, tout de suite aux arbres dont les cimes se dessèchent aussitôt et qui commencent à être malades. Lorsque la fermeté de la couche supérieure du sous-sol atteint un degré plus élevé, alors

1. H. C. Ulrich, *Om Jordbundsbearbeidning og Besaaning ved den naturlige Bögeforyngelse* (*Tidsskr. f. Skovbr.* T. III, p 175).

les racines des arbres qui s'enfoncent profondément meurent peu à peu et de plus en plus, jusqu'à ce qu'avec le temps elles s'étendent seulement dans la croûte terrestre tout à fait superficielle, ou, comme dans les peuplements de hêtres et d'épicéas sur d'anciennes couches de tourbe puissantes, elles se prolongent tout à fait en haut sur la terre, dans les masses de déchets propres de la forêt. Sur le sable maigre, qui renferme seulement un taux pour cent d'argile faible, le sol n'atteint pas le même degré d'humidité que dans les sols plus riches en lehm, mais ici l'*Humusortstein* construit sur le sous-sol sa couverture presque impénétrable à l'humidité et aux racines des plantes et force les racines des arbres à se contenter du sable plombifère stérile et du feutre de tourbe acide. Enfin, nous voyons qu'aux places où le *Thonortstein* atteint une grande fermeté et s'est avancé jusqu'à la superficie, il limite à un degré dangereux la profondeur du sol qui porte la végétation et intercepte aux racines l'accès des couches plus profondes, si bien que même une superficie pourvue d'un bon terreau, ne suffit pas pour produire une végétation puissante, enfin, les arbres se rabougrissent ici ainsi que nous l'avons vu, tout comme sur le sol recouvert de tourbe et produisant l'*Ortstein*. La végétation à de telles places témoigne de la justesse des résultats, notamment de ceux des recherches de Hensen, qui montrent avec la plus haute vraisemblance que les racines des arbres ne peuvent pas elles-mêmes tracer un chemin vers les couches plus fermes du sous-sol, mais suivent les galeries du ver de terre, pour pénétrer dans la profondeur et ainsi ne peuvent se passer du travail du sous-sol effectué par ces animaux.

De tout ce qui existe maintenant sur le caractère naturel du sol et le rapport de la végétation forestière aux différentes formes du sol, aussi bien qu'à l'extension et à l'activité des vers de terre, résulte donc définitivement que jusqu'à présent un point très essentiel a été négligé dans la doctrine de la sylviculture, en ce sens que le travail poursuivi du sol n'avait pas été entrepris avec l'aide des principaux facteurs qu'exige la fertilité de la terre forestière.

L'influence du travail sur la croissance des arbres est d'une importance si péremptoire qu'il était impossible qu'elle pût échapper à l'œil du praticien ; elle est aussi depuis longtemps l'objet de l'obser-

vation, mais elle a été assez mal interprétée : c'est pourquoi on lui a donné des désignations erronées. Il a été, comme on l'a déjà fait remarquer, parfaitement reconnu que tout ce qui favorise la protection et l'ombragement, sert en même temps à la conservation de la couverture feuillue ; comme les emplacements protégés par la couche des masses de déchets annuels de la forêt qui les recouvre, offrent en général un champ excellent à l'activité des vers de terre, c'est là aussi que se trouvent les places de gisement principales du terreau meuble et fertile.

Autant est vieille cette notion, autant infructueuses ont pourtant été les recherches faites en vue de trouver une explication satisfaisante du phénomène. Dans les derniers temps, d'excellentes recherches, notamment celles d'Ebermayer et Wollny, ont apporté à la question des éclaircissements sur le pouvoir fertilisant merveilleux de la couverture sur la terre de forêt dont on a toujours cherché les causes dans les forces sans vie, l'influence de la couverture sur les conditions d'humidité, la richesse en principes nutritifs des plantes, etc.

Quelque grande que soit l'importance qu'on doit attribuer à ces recherches et quel que soit le nombre de questions intéressantes qu'elles ont éclaircies, elles n'ont pourtant pas touché le point principal du phénomène, c'est-à-dire le maintien de l'état meuble dans la couche supérieure du sous-sol; un examen du sol forestier revêtu de tourbe, qui est encore mieux protégé que le sol revêtu de terreau sans pourtant posséder les bonnes propriétés de ce dernier, montre d'une façon suffisamment claire la difficulté de généraliser les résultats auxquels sont arrivés les auteurs en question, relativement à l'influence favorable qu'exerce la couverture du sol formée d'une couche de restes de plantes morts. Nous croyons que maintenant il existe un matériel suffisant pour admettre que ce n'est pas l'influence physique directe, mais bien le travail du sol s'accomplissant sur l'emplacement protégé qui est la cause principale de sa fertilité ; et il semble que, par cette explication, ce qu'on a acquis aussi bien pour l'interprétation théorique du phénomène, que pour son application pratique n'est pas peu de chose.

Si donc, dans notre théorie, le travail du sol est un des moyens

les plus efficaces de la sylviculture rationnelle et intensive pour accélérer et maintenir la fertilité du sol forestier, alors il doit aussi être mis en œuvre, c'est-à-dire entrer dans la pratique forestière ordinaire. Le moyen le plus efficace, d'après cela, est sans doute la protection et le développement de la faune terrestre ; de façon qu'on obtienne un sol placé dans les conditions ordinaires de culture : jachère, buttage et ameublissement de la superficie, labourage du sous-sol ou drainage des couches plus profondes. Malheureusement, nous savons jusqu'à présent si peu de chose sur l'extension et le mode d'existence des espèces de vers de terre, que la pratique doit au temps présent attendre de la théorie la réponse à de très nombreuses questions; mais il y a ici un riche champ de recherches forestières qui n'est pas en dehors de la sphère du praticien qui réfléchit ; la science des soins à donner au sol de la forêt ne fera sans doute pas de progrès essentiels, si l'on ne prend en considération le travail naturel dans les recherches.

Protection, ombragement, couverture sont pour le sol et sa fraîcheur, d'après tout ce que nous savons jusqu'à présent, les conditions principales de la vie et de l'activité des vers de terre, et le forestier praticien doit concentrer son attention sur ce point à un degré plus élevé qu'autrefois et à la vérité d'autant plus fort que le sol est plus exposé à la perte de ces propriétés. Protection des lisières des forêts, plantations en vue de couvrir les marais de forêts (*Waldmoore*) vides, couverture des petits espaces nus dans les peuplements par des plantations, quand bien même on ne devrait retirer de celles-ci aucun gain direct, couverture des places sans protection avec des ramilles qui peuvent retenir la feuille, toutes ces dispositions sont bien connues et employées en plusieurs endroits, pour maintenir la fertilité du sol forestier. Mais la connaissance du caractère du phénomène permet l'application des moyens d'une manière plus judicieuse. Ainsi, dans nos peuplements se trouvent très fréquemment des clairières, où un examen plus approfondi du sol montrera que de tels travaux de protection sont superflus, et il y a d'autre part des peuplements sur lesquels, comme le montrent des expériences et des observations, ces travaux sont tout à fait insuffisants.

Sur le sol frais, principalement argileux, les clairières et les lisières des peuplements, surtout au côté Nord de ceux-ci, sont couvertes d'une jolie végétation luxuriante de plantes éricacées et un examen plus attentif montre que le sol est recouvert d'excréments de vers de terre et se trouve dans un état physique particulièrement favorable. A de telles places, les moyens de protection, pour accélérer le travail du sol, sont évidemment superflus.

Là où, au contraire, le sol est plus léger, haut placé et exposé au sec, souvent sur des places où la croissance est imparfaite, surtout quand l'accès du vent et du soleil est possible, une végétation misérable apparaîtra, dans laquelle les mousses occupent une place prépondérante et où la superficie attestera une faible formation de tourbe à son début. Si ces places restent abandonnées à elles-mêmes, alors le développement de la tourbe accélérera la ruine de la forêt, les places appauvries s'étendront et les dommages prendront souvent de grandes dimensions.

C'est à peine si l'on peut mettre en doute, que le forestier attentif qui, au premier stade de ces formations, recouvre le sol de ramilles, ou bien, là où c'est faisable, entreprend la création d'un sous-bois qui doit seulement servir à rassembler la feuille et à produire la couverture, peut empêcher que le mal ne s'étende davantage, mais pour un plus grand développement de ce fléau, cela est pour ainsi dire insuffisant. Il est une question que seules des recherches peuvent résoudre : un travail superficiel du sol, si possible conjointement avec une fumure calcaire et une couverture consécutive avec des ramilles, peut-il accélérer le développement d'une formation de tourbe, qui est vraiment à son début? Pour que ce procédé puisse conduire au but, il est indispensable que l'immigration des vers de terre soit possible, que la formation de tourbe se soit donc développée seulement par places, parce qu'autrement on agrandit seulement la couche de tourbe et on donne occasion à la formation de terreau d'insectes, qui n'est pas beaucoup meilleur, en faisant croître la couche de déchets organiques. Quant à savoir s''il est pratiquement possible d'amener à de telles places des vers de terre, notamment le *Lumbricus terrestris*, comme le conseille Hensen, je

veux laisser cette question indécise ; mais on doit cependant recommander de faire des recherches sous ce rapport.

Si la couche de tourbe a un développement plus puissant et que cette formation occupe de plus grandes étendues, alors des installations de la nature de celles qu'on a décrites, par lesquelles on cherche à attirer les vers de terre, n'ont aucune utilité. Nous avons vu que les couches de tourbe d'emplacements secs peuvent contenir des restes de déchets séculaires et que même un peuplement d'épicéas, élevé en futaies pleines, âgé de 80 ans, rend le lieu inhabitable pour les vers de terre. Veut-on ramener le sol à son état de fertilité d'autrefois, on doit alors intervenir par un travail profond du sol semblable à celui entrepris maintenant dans les landes : de cette façon on détruira d'une part la couche de tourbe, et d'autre part on mélangera le sable plombifère avec les éléments absorbants du sous-sol et enfin on divisera et aérera l'*Ortstein*.

Le travail profond du sol, tel qu'il est entrepris d'ordinaire dans les landes comme préparation à une plantation d'arbres, s'accorde tout à fait avec les démonstrations pratiques qui peuvent être empruntées aux observations communiquées plus haut, et la culture de céréales poursuivie pendant quelques années et pratiquée çà et là avant la plantation par la *Haidekultur-Gesellschaft* (Société de culture des landes), là où cela peut se faire convenablement, augmente certainement à un degré élevé l'effet de chaque installation ; mais il reste encore une question à résoudre : l'état favorable où l'on place ainsi le sol peut-il se maintenir indéfiniment sans qu'on recommence continuellement le travail ? Cela ne sera pas possible si l'on ne peut pas produire dans le sol la même faune terrestre qui depuis des milliers d'années garantit le terreau de broussailles (*Gestrüppmull*) contre la décadence. Étant donnée l'activité énorme et pleine de talent déployée actuellement dans les plantations du Jütland, il faut espérer qu'on ne négligera pas d'installer des recherches dans cette direction, d'autant plus qu'on a déjà complètement reconnu que le travail profond du sol est véritablement en état de provoquer une croissance rapide des arbres. Mais ne peut empêcher que les plantations cessent de prospérer après un laps de cinq à dix années et prennent au moins pendant un temps un aspect

maladif ; certes, il existe aussi des expériences non douteuses d'où il résulte qu'un travail artificiel renouvelé du terrain peut remettre à nouveau en bon état de croissance un pareil peuplement, sans que l'effet du travail exécuté pour la seconde fois soit de plus longue durée que le premier.

Création des peuplements.

Des circonstances pratiques et surtout des considérations économiques établissent des barrières insurmontables à l'application des indications à suivre pour le travail direct et indirect du sol, qui peuvent être empruntées aux études communiquées ici et qui ont été brièvement esquissées dans le précédent chapitre. Principalement à cause de ces embarras pratiques et économiques, on n'est pas très incité à élaborer de pareilles instructions pour la pratique ; c'est pourquoi il paraît aussi convenable de donner, pour le forestier praticien, à cette application des études mentionnées la forme d'un avant-propos à la réflexion, aux recherches et aux observations ; et le même caractère doit être attribué aux vues sur les formes des peuplements, sur différents emplacements, qui sont les plus favorables à la conservation de la porosité du sol.

Sur le sol argileux et frais, ce doit être, ainsi que l'apprend l'expérience, toute proportion gardée, relativement facile de conserver la faune terrestre à l'aide des moyens bien connus dont on a parlé plus haut et de s'assurer l'effet de son activité poursuivie. Les dangers auxquels on s'expose ici par une éclaircie imprévoyante et pendant la régénération, consistent en partie en ce que le sol, sous l'action inaccoutumée du soleil, est privé de son terreau, en partie au développement d'une croissance d'herbe qui fait des progrès trop rapides ; mais aucun de ces phénomènes n'appartient à ceux qui font l'objet du présent travail.

Mais, aussitôt que l'on a affaire à un sol plus léger et en même temps, comme c'est souvent le cas dans notre pays, à un terrain montagneux, on remarquera bientôt, lorsqu'on observe attentivement de tels emplacements forestiers, ce que le praticien expérimenté sait aussi très bien, que ce qu'on appelle l'appauvrissement du sol

progresse toujours et toujours de plus en plus. Des étendues portant une végétation forestière luxuriante sont interrompues par des places dont la superficie est dure et la croissance arbustive misérable ; le sol n'a pas ici un état de fertilité aussi assuré que dans un pays plus riche et plus frais, quoique plus d'un bosquet qui se trouve en excellente croissance d'une façon inexplicable au premier coup d'œil, témoigne que le sol peut porter une végétation puissante. Le praticien sait très bien qu'il doit apporter la plus grande circonspection dans les soins à donner à un tel sol, surtout pour la régénération, afin que le danger apparaissant à certaines places ne conquière pas, en un temps relativement court, de grandes étendues ; c'est surtout dans nos forêts de hêtres que l'on peut faire ces observations ; mais aussi dans les forêts d'épicéas se montrent des rapports analogues.

Maintenant se pose la question de savoir si les formes de nos peuplements et nos méthodes de régénération ne peuvent pas être modifiées de façon à ce que nous soyons mieux en état d'assurer le travail poursuivi du sol et par là de lui conserver sa fertilité.

Nous avons vu que différentes formes de peuplements ne sont pas au même degré en état de conserver à la longue la faune terrestre travailleuse ; celle-ci s'est maintenue sur le sol le plus maigre dans les forêts de chênes, durant des milliers d'années, et peut vraisemblablement se maintenir pendant un temps aussi long dans les forêts de pins sylvestres, tandis qu'évidemment un petit nombre de générations de forêts de hêtres, peut-être aussi d'épicéas, peuvent suffire à l'anéantir. La première méthode qu'on pourrait tirer de ces observations, serait bien de s'en tenir, sur un sol qui est encore en forme de terreau, mais qui en vertu de son caractère est très exposé à une formation de tourbe, à la culture d'essences capables de maintenir le plus facilement le sol dans son état de porosité. Seulement ce programme n'a évidemment que peu de chances de succès d'application pratique, le caractère des peuplements dépendant, dans les forêts artificielles, principalement de moments économiques, et doit d'après cela subir d'importantes modifications pour devenir applicable.

Sous ce rapport, un mélange convenable me paraît être d'une utilité particulière. Quand, sur un sol comme celui dont on parle,

on interrompait les grandes régénérations uniformes de hêtres par une essence de lumière disséminée en bosquets de bois, comme les chênes ou les pins sylvestres, parmi lesquels des halliers (touffes d'arbrisseaux) ou des essences protégeant le sol pouvaient immigrer ou être apportées, on avait obtenu ainsi, quand de tels groupes occupaient au moins 1/4 à 1/2 de la surface du peuplement, une excellente protection du sol et créé une quantité de places pour ainsi dire imprenables par la faune terrestre, sans renoncer à l'essence principale. Il n'est pas difficile de se convaincre, par des voyages dans nos forêts, de l'utilité d'un pareil mélange, car, là où de plus grands peuplements de hêtres sont interrompus çà et là par des groupes de chênes, le sol se montrera aussi dans les forêts de hêtres en un meilleur état que sur la surface où n'existe pas de mélange.

La forme de la forêt prendrait de la ressemblance avec les peuplements mélangés de hêtres et de chênes rétablis par des régénérations en forme d'échiquier, ainsi qu'on en a établi dans les célèbres forêts de mélange de chênes et de hêtres dans le Spessart, dont le sol a tout à fait le même caractère que notre sol forestier léger, assez faiblement argileux et qui, à cause de cela, offre à beaucoup de places dans les peuplements purs de hêtres un exemple de formations de tourbe à leur début.

Il y a de plus une conclusion voisine, à savoir, que plus le sol se montre exposé à la formation de tourbe, plus la régénération des hêtres devrait être conduite avec prudence et énergie. Cette régénération doit donc, d'après cela, au moyen de petites surfaces de culture et d'une plantation rapide des parties non régénérées naturellement, autant que le plan d'exploitation le permet, se rapprocher des régénérations dans les forêts exploitées en jardinage, dans lesquelles, comme on sait, le travail de régénération est beaucoup plus facile que dans de grandes surfaces de culture ouvertes une fois. La régénération des hêtres, très lente et conduite avec prudence en France, et la régénération naturelle à l'aide d'une réserve moderne, pratiquée en Allemagne et qui a beaucoup de ressemblance avec le procédé français, ont tous deux pour but de rendre le passage à une régénération aussi imperceptible que possible. Par

cela, conformément à l'expérience, on conserve le mieux au sol son état poreux, le domicile de la faune terrestre ne change son caractère à aucun degré essentiel et le succès de la régénération est par cela même plus assuré.

Sur les couches de tourbes d'ancienne formation dans les forêts de hêtres, particulièrement aux places où un peu d'argile contribue à donner de la fermeté au sol, un travail si vaste est indispensable pour créer à nouveau une terre poreuse en forme de terreau, que la pratique ne peut nulle part s'engager dans l'entreprise d'un pareil travail. Ici la culture forestière doit se limiter à des essences dont le système de racines est superficiel, notamment l'épicéa, qui croît très bien dans la tourbe de hêtres, un chemin que la pratique a aussi depuis longtemps battu chez nous, alors que le développement de l'épicéa dans nos forêts à sol maigre indique dans les grands traits justement l'étendue des espaces sur lesquels la transformation du sol d'état meuble à un état très dur exclut une série d'autres essences.

Quelques recherches chimiques et physiques sur le sol des forêts de landes.

Par C. F. A. TUXEN

Comme suite aux recherches sur le sol de la forêt de hêtres communiquées dans la première partie du présent écrit, j'ai entrepris, sur le désir exprimé par le Dr Muller, la série de déterminations d'azote et de recherches d'absorption qu'on trouvera ci-après. Ces recherches ont été entreprises sur 11 profils de terre des différentes régions du pays et avec les données communiquées auparavant sur 11 autres places, il y a donc en tout dans ces deux parties, sans compter un nombre assez considérable de déterminations d'azote partielles, des séries plus vastes de recherches portant sur 22 emplacements différents dans les régions forestières et de landes. Comme les déterminations d'azote en question sont déjà citées dans l'écrit du Dr Müller, elles ne seront pas répétées ici. Le but des recherches que j'ai entreprises était de livrer la base indispensable, acquise par les moyens chimiques pour les études sur le terreau et

la tourbe dans les forêts de chênes dont traite la publication, et je n'ai d'après cela aucune raison de donner les résultats des recherches, puisqu'ils ont déjà été développés. Je veux à cause de cela seulement indiquer que les échantillons de terre sur lesquels ont porté les recherches m'ont été livrés par le Dr Müller, et que les descriptions des emplacements, que je donne plus bas, sont rédigées par lui. Les nombres courants des profils désignent les recherches, comme une suite immédiate aux travaux analytiques du même genre livrés à la première partie de cet écrit.

La tâche qu'on m'avait tracée consistait à déterminer le pouvoir absorbant dans les couches de terre, qui se trouvent sous les différentes formes de dépôts humiques établies par le Dr Müller. A cause de cela, les recherches d'absorption sont le point principal et les déterminations mécaniques et chimiques doivent seulement servir à établir, d'une façon plus tranchée qu'une description faite d'après un examen oculaire seul, la diagnose des matériaux de recherche. L'extension qui, pour chaque profil, a été donnée à l'analyse mécanique et chimique est déterminée suivant le désir exprimé pour chaque cas par le Dr Müller et leur caractère basé à cause de cela plus sur ses recherches que sur la tâche que j'avais entrepris d'accomplir.

Les recherches d'absorption sont faites suivant la façon indiquée par Knop : 50 grammes de terre fine sont employés pour une dissolution de 100cc. Les résultats sont donnés dans les tableaux suivants — ce qui au point de vue théorique est un peu incorrect, — établis au quantum que 100 parties de terre exempte de pierres peuvent absorber d'une dissolution de 100cc.

Le rapport de la terre fine à la terre exempte de pierres est établi, cela va sans dire, par un simple calcul proportionnel, après la détermination de la terre fine dans chaque échantillon.

Dans les recherches, on employait une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque qui correspondait à une dissolution de 0gr,233 d'ammoniaque dans 100cc. Pour déterminer l'absorption de la potasse, on employait une dissolution renfermant 0gr,471 de potasse dans 100cc et pour l'absorption de l'acide phosphorique, on se servait d'une dissolution de sulfate de soude neutre, qui renfermait 0gr,352 d'acide phosphorique dans 100cc.

Dans les analyses mécaniques, *Kies* (grès) désigne les parties du squelette qui ont une grosseur de 1 à 2 millimètres, *grober Sand* (sable grossier) celles dont la grosseur est supérieure à 1 ou 2 millimètres, et *feiner Sand* (sable fin) celles dont la grosseur est inférieure à 1/3 de millimètre.

Sols forestiers en forme de terreau (Mullartig) *et argileux* (lehmige).

Profil XII. Gelsskov, 1. District forestier de Copenhague (Seeland). Côté Nord de la montagne de Gel (*Gelshügel*) ; faible talus (*Böschung*), exempt d'humidité permanente. Très jolie forêt de hêtres de 60 à 70 ans, en excellente croissance. Terreau sombre de 3 pouces ($0^m,0784$); sol silicéo-argileux (*sandig-lehmiger*) de 12 pouces ($0^m,318$) ; *Thonortstein* pas fortement caractérisé. Les échantillons sont prélevés au voisinage du profil III (1[re] partie, page 201).

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés	ÉLOIGNEMENT de la superficie des couches de terre examinées.			
	4-8 pouces ($0^m,1460$-$0^m,209$).	12-22 pouces ($0^m,3138$-$0^m,615$).	27-33 pouces ($0^m,7461$-$0^m,903$).	36-42 pouces ($0^m,9815$-$1^m,1384$).
Grès	0,90	1,00	1,21	1,11
Sable grossier	8,90	9,00	10,19	8,39
Sable fin	65,35	66,32	53,72	50,09
Argile	17,10	17,32	26,20	32,00
Humus	1,35	0,56	0,22	0,21
Eau chimiquement combinée	1,93	1,64	2,62	1,82
Eau hygroscopique	2,53	1,60	1,50	2,50
Oxyde de fer	1,49	1,97	2,24	1,96
Alumine	0,45	0,59	2,10	1,92
Total de la terre fine	90,20	90,00	88,66	90,50
100 parties de terre exempte de pierres ont absorbé :				
Ammoniaque	0,074	0,040	0,088	0,123
Potasse	0,077	0,019	0,099	0,215
Acide phosphorique	0,173	0,173	0,163	0,159

Profil XIII. Même emplacement que profil XII. Les échantillons de terre examinés sont un mélange de trois pris dans des trous distants l'un de l'autre d'environ 10 ellen ($138^m,06$), prélevés exactement à la même profondeur et enfin, soigneusement mélangés : le mélange fut alors soumis à la recherche. Le *Thonortstein* commença ici à une profondeur de 14 à 16 pouces ($0^m,376$-$0,428$).

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	ÉLOIGNEMENT de la superficie des couches de terre examinées.		
	0-4 pouces (0^m-$0^m,1046$).	4-8 pouces ($0^m,1046$-$0^m,209$).	8-12 pouces ($0^m,209$-$0^m,3138$).
Grès	1,23	1,63	2,61
Sable grossier	15,00	9,43	10,83
Sable fin	66,42	65,80	60,44
Argile	9,29	16,75	17,99
Humus. Eau chimiquement combinée	3,71	2,91	2,50
Eau hygroscopique	2,31	1,30	2,80
Oxyde de fer	1,66	1,82	2,30
Alumine	0,38	0,36	0,53
Total de la terre fine	83,00	90,00	87,00
100 *parties de terre exempte de pierres ont absorbé :*			
Ammoniaque	0,047	0,042	0,024
Potasse	0,081	0,086	0,063
Acide phosphorique	0,154	0,219	0,230

Profil XIV. Store Hareskov, 2. District forestier de Copenhague (Seeland). Terrain plat bien drainé. Boqueteau de perches de hêtres de 30 ans, en futaies pleines et en bon état de croissance ; terreau sombre de 2 pouces ($0^m,0523$) ; couche supérieure du sous-sol sableuse, gris jaune, meuble, de 17 pouces ($0^m,4546$) ; *Thonortstein*, très ferme, plus fréquemment blanc gris, de 19 pouces ($0^m,5069$), en haut argileux-sableux, à une plus grande profondeur siliceux et pierreux. Le profil correspond tout à fait au profil I décrit dans la

1re partie, page 200, et se trouvait dans le même peuplement à une distance faible de ce profil.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	ÉLOIGNEMENT de la superficie des couches du sol examinées.			
	0-2 pouces (0^m-0^m,0523).	2-6 pouces (0^m,0523-0^m,1569).	6-10 pouces (0^m,1569-0^m,2615).	10-20 pouces (0^m,2615-0^m,523).
Grès	2,62	4,41	3,81	5,43
Sable grossier	18,43	20,19	10,68	12,45
Sable fin	51,38	54,95	62,26	61,65
Argile	10,80	11,21	13,42	12,60
Humus	6,43	1,44	0,85	0,18
Eau chimiquement combinée	0,89	0,67	0,83	0,88
Eau hygroscopique	7,35	4,23	3,15	2,11
Oxyde de fer	0,96	1,16	2,08	2,32
Alumine	1,14	1,74	2,92	2,08
Total de la terre fine	79,85	75,40	85,51	82,12
100 parties de terre exempte de pierres ont absorbé :				
Ammoniaque	0,061	0,048	0,047	0,038
Potasse	0,040	0,062	0,014	0,038
Acide phosphorique	0,032	0,043	0,077	0,167

Sol forestier argileux (lehmiger) *recouvert de tourbe.*

Profil XV. Strandskov, Teglstruper Gehege, 1. District forestier de Kronborg (Seeland). Plateau montagneux, haut placé. Vieille coupe d'ensemencement ouverte; forêt de hêtres d'environ 200 ans, avec des arbres bas, à cimes desséchées, tourbe ferme, compacte, feuilletée, de 2 à 3 pouces (0^m,0523-0^m,0784), sable plombifère blanc gris, de 4 à 5 pouces (0^m,1046-0^m,1307) ; terre rouge ferme, de 4 à 5 pouces (0^m,1046-0^m,1307) ; le sous-sol lehm sableux. L'emplacement examiné correspond tout à fait aux profils VII et VIII (1re par-

tie, pages 205, 206 et 207) et se trouve dans le même peuplement que ceux-ci.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	SABLE plombifère.	ORTSTEIN.	SOUS-SOL.
Grès	5,30	7,00	10,40
Sable grossier	17,70	22,75	22,81
Sable fin	57,95	40,19	42,56
Argile	16,23	21,50	19,52
Humus	0,54	2,85	0,50
Eau chimiquement combinée	0,64	0,88	0,86
Eau hygroscopique	1,38	3,29	1,34
Oxyde de fer	0,12	0,80	1,02
Alumine	0,14	0,74	0,99
Total de la terre fine	77,00	70,25	66,79
100 *parties de terre exempte de pierres ont absorbé :*			
Ammoniaque	0,013	0,045	0,021
Potasse	0,084	0,158	0,112
Acide phosphorique	»	0,185	0,076

Sol forestier sableux recouvert de tourbe.

Profil XVI. Sölleröd Kirkeskov, 1. District forestier de Copenhague (Seeland). Bosquet Nord à la lisière d'une forêt de hêtres âgée de plus de 200 ans, ouverte vers l'Ouest et soumise pendant une très longue série d'années (au moins cinquante ans) à l'action violente du vent. La hauteur des arbres est d'environ 70 pieds (21^{m},96) et leurs cime scommencent à se déssécher.

Tourbe pas très ferme, de 3 pouces et demi (0^{m},0915) ;

Sable plombifère blanc gris, de 3 pouces et demi ;

Humusortstein terreux sur un sous-sol de sable argileux, fin, jaune, de 3 à 4 pouces (0^{m},0784 à 0^{m},1046).

L'échantillon du sous-sol a été prélevé à un éloignement de la superficie variant de 14 à 21 pouces ($0^m,376$ à $0^m,2105$).

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	SABLE plombifère.	ORTSTEIN.	SOUS-SOL.
Grès	1,00	0,70	0,60
Sable grossier	13,36	12,34	10,80
Sable fin	68,64	66,76	76,80
Argile	12,74	10,03	8,30
Humus	2,02	4,14	0,76
Eau chimiquement combinée	0,97	0,86	0,51
Eau hygroscopique	0,45	1,51	0,63
Oxyde de fer	0,43	2,56	1,10
Alumine	0,39	1,10	0,50
Total de la terre fine	85,6	86,9	88,6
100 *parties de terre exempte de pierres ont absorbé :*			
Ammoniaque	0.034	0,090	0,030
Potasse	0,048	0,100	0,010
Acide phosphorique	0,041	0,245	0,113

Profil XVII. Nordskov, District forestier de Silkeborg (Jütland).

Ligne de vallée haut placée, bornée par des parties montagneuses pas beaucoup plus élevées, avec une forêt de chênes très mauvaise et élevée en futaies imparfaites.

Tourbe compacte et ferme de 1 à 2 pouces ($0^m,026$ à $0^m,0523$) ;

Sable plombifère blanchâtre de 12 pouces et demi ($0^m,3268$) ;

Ortstein sur sable jaune de 6 pouces ($0^m,1569$).

L'échantillon du sous-sol a été prélevé à 38 pouces ($1^m,0338$) de la superficie.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	SABLE plombifère.	ORTSTEIN.	SOUS-SOL.
Grès	12,00	13,69	12,69
Sable grossier	37,58	39,61	29,72
Sable fin	47,45	34,20	52,88
Argile	1,10	4,39	0,87
Humus	1,25	3,75	1,62
Eau chimiquement combinée	»	»	»
Eau hygroscopique	0,56	1,84	0,78
Oxyde de fer	0,05	2,08	0,95
Alumine	0,01	0,44	0,49
Total de la terre fine	50,42	46,70	57,59
100 *parties de terre exempte de pierres ont absorbé :*			
Ammoniaque	0,003	0,013	0,007
Potasse	0,046	0,062	0,055
Acide phosphorique	»	0,114	0,041

Sol de lande recouvert de tourbe.

Profil XVIII. Plantation de Holt dans le Kirchspiel Rind, Amt-Ringkjöbing (Jütland). Plateau assez haut placé, avec une faible pente au Nord ; lande laissée en repos avec une végétation puissante de bruyères.

L'emplacement appartient aux parties de landes montagneuses et doit être désigné comme bon sol de lande. Croûte de lande de 3 pouces ($0^m,0784$), sable plombifère de 4 pouces ($0^m,1046$), *Humusortstein* de 10 pouces ($0^m,2615$), de même aspect et de même caractère que la couche T (tableau III, fig. 4). L'emplacement doit être compté parmi les plus secs et la couche désignée par *a'''* sur cette figure n'avait pas du tout à cause de cela un développement plus grand que la couche correspondante dans les figures 6 et 7 du tableau III. L'échantillon du sous-sol a été prélevé entre 18 et 24 pouces ($0^m,480$ et $0^m,6676$) de la superficie.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	SABLE plombifère.	ORTSTEIN.	SOUS-SOL.
Grès	4,82	3,75	7,00
Sable grossier	22,70	24,63	36,72
Sable fin	68,97	44,29	41,41
Argile	2,54	1,85	10,69
Humus	0,34	8,87	1,11
Eau chimiquement combinée	»	»	0,33
Eau hygroscopique	0,21	13,49	0,84
Oxyde de fer	0,28	1,94	1,35
Alumine	0,14	1,18	0,55
Total de la terre fine	72,5	71,6	56,3
100 parties de terre exempte de pierres ont absorbé :			
Ammoniaque	0,003	0,065	0,016
Potasse	0,116	0,231	0,010
Acide phosphorique	»	0,331	0,108

Recherches comparatives sur le sol dans le bosquet de chênes et la lande, près Viborg (Jütland).

a. — Sol de terreau du bosquet.

Profil XIX. *Viborg Krat.* District forestier de Viborg. — Terrain à pente très faible (90 pieds [28^m,25] au-dessus de la mer), sur le passage entre les landes montagneuses et les plaines de landes, à 40 pieds (12^m,65) de la limite Est de boqueteau, peuplé d'un très bon perchis de chênes, provenant de la croissance des rejetons ; le sol est recouvert par la flore du terreau de broussailles (*Gestrüpp-mull*), terreau grisâtre de 1 à 2 pouces (0^m,026-0^m,052), structure d'excréments de vers de terre ; sable jaune gris et parfaitement meuble de 7 à 8 pouces (0^m,183-0^m,235), dont la coloration grisâtre se perd peu à peu avec la profondeur ; couche de terre jaune, brun clair de 8 pouces (0^m,209), dont la couleur se laisse à peine distinguer de celle du sous-sol ; celui-ci consiste en sable de lande ordi-

naire jaune d'ocre. L'échantillon de la couche superficielle a été prélevé de 3 pouces (0m,0784) de la superficie, celui de la couche moyenne à 12 pouces (0m,3138) et celui de la couche la plus inférieure à 23 pouces (0m,6415).

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	ÉLOIGNEMENT de la superficie des couches de terre examinées.		
	3 pouces (0m,0784). — Terreau.	12 pouces (0m,3138). — Ortstein.	23 pouces (0m,6415). — Sous-sol.
Grès	4,53	5,24	5,63
Sable grossier	28,63	27,12	29,01
Sable fin et argile [1]	61,24	62,49	62,56
Humus (perte ou rouge)	2,73	2,18	0,53
Eau hygroscopique	1,87	1,65	1,10
Oxyde de fer / Alumine	1,00	1,32	1,17
Total de la terre fine	66,84	67,64	65,36
100 parties de terre exempte de pierres ont absorbé :			
Ammoniaque	0,037	0,035	0,023
Potasse	0,035	0,059	0,049
Acide phosphorique	0,137	0,185	0,129

1. Dans les Profils XIX, XXI et XXII, la petite quantité d'argile n'a pas été déterminée particulièrement; on doit admettre que, comme pour le Profil XX, elle s'élève à 2 p. 100.

Profil XX. Forêt de chênes de Hald, appartenant au Bien de Hald, 150 pieds (47 mètres environ) au-dessus de la mer. — Terrain à pente faible, talus oriental recouvert d'une forêt de chênes âgés de 100-200 ans, irrégulière et élevée en futaies imparfaites. Le sol, recouvert d'une couche mince de feuilles de chênes, porte une végétation d'arbrisseaux de genévriers disséminés, de buissons isolés d'airelle-myrtille, aussi bien que d'un peu d'herbe, fougère aigle et de *Melampyrum*. Terreau grisâtre de 2 à 3 pouces (0m,0523-0m,0784) ; sable parfaitement meuble, gris blanc de 6 pouces (0m,1569) ; couche jaune brun, nettement développée de 6 à 8 pouces (0m,1569-0m,2093),

qui a tout à fait la même consistance que le sous-sol qui, ordinairement, consiste en sable de lande ordinaire, couleur d'ocre. Un profil de caractère tout à fait analogue et du même emplacement, mais de puissance un peu différente dans les couches isolées, est représenté par la figure 5 du tableau III.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	ÉLOIGNEMENT de la superficie des couches de terre examinées.		
	4-5 pouces (0^m,1046-0^m,1307). — Sable plombifère.	12 pouces (0^m,3138). — Ortstein.	24 pouces (0^m,6676). — Sous-sol.
Grès	4,40	4,80	6,00
Sable grossier	26,00	25,40	26,80
Sable fin	65,66	62,34	60,68
Argile	3,00	3,00	3,25
Humus (perte au rouge)	0,56	1,76	1,04
Eau hygroscopique	0,10	0,95	0,80
Oxyde de fer / Alumine	0,28	1,75	1,43
Total de la terre fine	69,60	69,80	67,20
100 parties de terre exempte de pierres ont absorbé :			
Ammoniaque	0,022	0,033	0,027
Potasse	0,036	0,029	0,028
Acide phosphorique	0,024	0,220	0,087

b. — **Jeune lande portant une végétation de bruyère.**

Profil XXI. Plantation de lande de Viborg. District forestier de Viborg. — Terrain plat (85 pieds [27^m,077] au-dessus de la mer), près des limites qui ne sont pas clairement reconnaissables dans le terrain, entre les montagnes et les plaines de landes, à 40 pieds (12^m,65) de la limite orientale du Viborg Krat et 80 pieds (25^m,508) du profil XIX. Le sol était recouvert d'une végétation de bruyère haute et puissante, à côté de bosquets de genêts et de genévriers, et d'une couche puissante d'Hypnum ; les lichens n'existaient pour ainsi dire pas, et la camarine noire ainsi que l'alisier blanc manquaient complètement. La cou-

che superficielle du sol consistait en un fil tenace, sombre, composé de sable humique et de racines de bruyères, avec une faible formation de tourbe. Jusqu'à une profondeur de 10 pouces (0m,26154), le sol était grisâtre, couleur terreau, avec une coloration moins claire, analogue à celle du sable plombifère dans le tiers le plus inférieur et une coloration qui s'assombrissait de plus en plus vers la superficie du sous-sol. La partie superficielle du sous-sol, de 8 pouces (0m,2092), se distinguait clairement des couches plus profondes, couleur d'ocre, de celui-ci et avait la même coloration que les parties en question dans les profils XIX et XX, mais un peu plus brunâtre. Toutes ces couches étaient parfaitement terreuses et faciles à creuser, mais la couche supérieure du sous-sol pourtant moins facile que le terreau meuble de la broussaille ; chaque coup de bêche conservait sa forme, notamment dans la couche supérieure du sous-sol. Le profil est représenté par la figure 3 du tableau III. Les échantillons de terre ont été prélevés à une distance respective de 4, 11 et 23 pouces (0m,1046, 0m,2876 et 0m,6415) de la superficie.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	ÉLOIGNEMENT de la superficie des couches de terre examinées.		
	4 pouces (0m,1046). — Sable plombifère.	11 pouces (0m,2876). — Ortstein.	23 pouces (0m,6415). — Sous-sol.
Grès	3,81	2,73	2,01
Sable grossier	30,80	21,10	15,21
Sable fin et argile	59,92	71,07	79,72
Humus (perte au rouge)	3,30	2,05	0,61
Eau hygroscopique	1,12	1,37	1,24
Oxyde de fer / Alumine	1,05	1,68	1,21
Total de la terre fine	65,39	76,17	82,78
100 *parties de terre exempte de pierres ont absorbé :*			
Ammoniaque	0,055	0,041	0,014
Potasse	0,129	0,071	0,027
Acide phosphorique	0,193	0,269	0,098

c. — **Lande en complet développement.**

Profil XXII. Plantation de lande de Viborg. District forestier de Viborg. — Terrain plat (80 pieds [25^m,508] au-dessus de la mer) à la limite qui n'est pas reconnaissable dans le terrain entre les montagnes et les plaines de landes, à environ 1,900 pieds (environ 596 mètres) de la frontière orientale du boqueteau de Viborg et également éloigné des profils XX et XXI. Le sol est recouvert de la végétation typique de la lande : bruyère, camarine noire, alisier blanc, etc. La couche superficielle de 3 pouces (0^m,0784) est de la tourbe de lande normale; dessous, du sable plombifère de 6 pouces (0^m,1569), qui est fortement coloré en haut et en bas par des dépôts de particules d'humus, ce qui rend complètement confuse la limite avec les couches contiguës; sous le sable plombifère se trouve de l'Ortstein tourbeux, assez ferme, mélangé à différents degrés avec des grains de sable blancs et qui n'est pas nettement séparé de l'*Humusortstein* très dur, irrégulièrement coloré, sombre en haut, d'une puissance de 8-10 pouces (0^m,209-0^m,2615). Le profil est dessiné sur le tableau III, figure 4. Les échantillons de terre ont été pris à des distances respectives de 3, 8, 14 et 23 pouces (0^m,078, 0^m,209, 0^m,376 et 0^m,641) de la superficie.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	ÉLOIGNEMENT de la superficie des couches de terre examinées.			
	3 pouces (0^m,0784). — Sable plombifère.	8 pouces (0^m,209). — Torfortstein.	14 pouces (0^m,3761). — Humusortstein.	23 pouces (0^m,6415). — Sous-sol.
Grès	4,56	7,50	3,86	6,23
Sable grossier	35,03	36,21	30,41	30,45
Sable fin et argile	56,83	45,17	61,68	61,73
Humus (perte au rouge)	2,13	6,01	1,78	0,64
Eau hygroscopique	0,73	3,13	0,99	0,30
Oxyde de fer / Alumine	0,72	1,98	1,28	0,65
Total de la terre fine	60,41	56,29	65,73	63,22
100 parties de terre exempte de pierres ont absorbé :				
Ammoniaque	0,036	0,063	0,031	0,021
Potasse	0,075	0,068	0,050	0,028
Acide phosphorique	0,093	0,353	0,325	0,051

APPENDICE

1887

Pendant les trois dernières années, plusieurs recherches nouvelles et considérables sur les transformations s'opérant dans la croûte superficielle de la terre, sous l'influence de facteurs mécaniques et chimiques, surtout sur la formation de l'Ortstein, ont paru dans la littérature allemande. Nous les devons surtout au Dr Ramann, d'Eberswalde [1]; pourtant les savants collaborateurs du directeur des forêts Emeis, à Flensburg, le professeur Emmerling et le chimiste G. Loges, à Kiel, ont, par une série d'analyses de terre, livré des contributions pleines de valeur à la façon de concevoir le caractère des sols de forêts et de landes [2], et aussi des recherches faites par d'autres ont mentionné occasionnellement les rapports en question.

Ramann publie une série considérable de très bonnes analyses de sols sableux avec Ortstein du Schleswig-Holstein, de la lande de Luneburg, Hanovre, Poméranie et Bohême. Pour arriver à une compréhension des processus qui se passent dans le sol, il a employé le même procédé que celui utilisé dans les précédentes publications, c'est-à-dire une analyse chimique des différentes couches de terre qui apparaissent de haut en bas dans le profil de sol obtenu par le creusement; il déduit de ses recherches les résultats suivants:

---

1. E. Ramann, *Ueber die Verwitterung diluvialer Sande*, u. *Der Ortstein und ähnliche Secundärbildungen* (*Sur la décomposition des sables de Diluvium et l'Ortstein et les formations secondaires analogues*) [*Jahrbuch der Königl. preuss. geologischen Landesanstalt für* 1884 *und* 1885]; *Ueber Bildung und Kultur des Ortsteins* (*Sur la formation et la culture de l'Ortstein*) [Dankelmann, *Zeitschr. für Forst- und Jagdwesen,* 1886].

2. A. Emmerling und G. Loges, *Gutachten über Untersuchungen der Haupthumusarten unserer Provinz auf Anregung des Herrn Forstdirektors Emeis erstattet* (*Rapports sur les recherches des sortes principales d'humus de notre province faites à l'instigation de M. le directeur des forêts Emeis*). [*Vereinsblatt des Haide-Kultur-Vereins für Schleswig-Holstein,* 1866, p. 63-70, 82-88.]

« Le sable plombifère se laisse caractériser comme un sable faiblement humique, dépouillé par la décomposition et le lavage de presque toutes les substances minérales, à l'exception des acides siliciques[1].

« L'Ortstein est un sable cimenté par des matières humiques, c'est-à-dire un grès d'humus (*Humus-Sandstein*).... Si de telles couches » — le sable plombifère — « sont jusqu'à un certain degré épuisées, alors les eaux de pluie et de neige dissolvent les matières humiques, les conduisent dans la profondeur et les précipitent de nouveau sur des parties plus riches en sel. Un sable cimenté par une telle matière humique dissoute et à nouveau précipitée, est l'Ortstein[2].

« L'Ortstein est essentiellement un produit de précipitation et le gisement suit, parce que l'action est essentiellement limitée sur cette couche. Le fer limoneux, au contraire, est une concrétion....[3] », etc.

Emmerling et Loges sont conduits à des résultats analogues par leurs excellentes analyses, poussées encore plus loin, de cinq sols différents, parmi lesquels se trouve pourtant un échantillon d'Ortstein[4].

On voit donc que la méthode de recherche employée ainsi que les résultats obtenus concordent entièrement avec ceux des publications précédentes[5]. Mais on ne trouve pas ordinairement dans les travaux scientifiques la façon dont le Dr Ramann, relativement à ces points, renvoie le lecteur à la littérature qu'il a utilisée. Cela se trouve seulement cité dans l'introduction de son œuvre principale. « Les nombreuses analyses de Tuxen se tiennent en harmonie avec celles de l'auteur. Beaucoup des vues exposées ici sur les formations d'Ortstein et de lande se trouvent en partie représentées, en partie exprimées dans Emeis : *Recherches forestières* (*Waldbauliche Forschungen*) et dans Müller, *Studier over Shovjord.* » Le fait que cette démonstration générale n'est pas suffisante ressort de ce que

1. *Jahrb.*, p. 37.
2. *Loco citato*, p. 38-42.
3. *Loco citato*, p. 15.
4. *Passim*, p. 83.
5. Comparez Résumé, p. 258.

le Dr Ramann mentionne les lois citées « comme une théorie établie par l'auteur[1] ». Emeis dit à ce propos[2] : « Cela devrait s'appeler la théorie formulée par Emeis dix ans auparavant. » Il est cependant douteux que cette rectification puisse être acceptée aussi en fait, parce que certes Emeis a vu dans le sable plombifère une formation de nouveau quartz[3], « *eine Neuquartzbildung* » et dans l'humusortstein une formation de concrétion[4], « *eine Concretionsbildung* ». Une révision critique de la littérature qui a rapport à ces questions devrait pourtant peut-être réfuter autre part le droit de priorité sur les lois simples mentionnées, quoique Emeis, dans ses publications pleines de valeur à certains points de vue, n'a pas tout à fait négligé celles-ci, comme cela a été déjà mentionné page 354. Dans deux questions de détails et une question principale, le Dr Ramann semble pourtant faire ressortir des vues différentes de celles exposées dans ce travail ; je dois me permettre de revenir ici sur ce point, non pas pour réfuter l'opinion du célèbre auteur en question, mais seulement pour ajouter quelques observations nouvelles, qui ne seraient pas sans valeur pour la compréhension du caractère des formations dont on traite ici.

Pour l'explication de la formation d'Ortstein le Dr Ramann se rapporte au phénomène connu que les acides humiques se dissolvent dans l'eau pure, avec l'addition d'une solution saline, particulièrement de terres alcalines, mais que les terres sont à nouveau précipitées. Si maintenant la couche de terre superficielle est, pendant la formation du sable plombifère, épuisée jusqu'à un certain degré en substances minérales, alors les eaux de neige et de pluie dissolvent les matières humiques, les conduisent dans la profondeur et les précipitent à nouveau sur les parties plus riches en sels. Pourquoi Ramann n'appelle-t-il pas ce phénomène une absorption, ainsi que l'a fait l'auteur ? D'après König[5], l'absorption des acides humiques est due justement à ce que la chaux, la magnésie, l'oxyde de fer et

1. *Jahrb.*, p. 46.
2. *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung*, 1866, p. 258.
3. Comparez, p. 354, 357 et 358.
4. Comparez, p. 354, 363 et 364.
5. *Landw. Jahrb.* T. XI, 1882.

l'alumine forment des sels doubles insolubles. S'il admet que la précipitation des matières humiques arrive dans l'Ortstein d'une autre façon[1] que dans les autres couches du sol, alors toute démonstration manque pour une telle hypothèse. Mais, outre cela, il faut encore se rappeler que la couche d'Ortstein ne renferme pas seulement une proportion considérable de matières humiques, mais qu'elle a aussi emmagasiné d'importantes quantités d'autres substances, souvent toutes de nature à pouvoir être dissoutes dans la couche superficielle du sol. Il n'y a absolument aucune raison d'admettre que toutes les matières présentes ici devaient être amoncelées dans la couche sous l'influence du phénomène complexe qui est caractérisé par l'absorption du sol.

Dans les recherches précédentes, l'attention fut dirigée sur ce fait (voyez pages 288-289, 295-300) que dans les sols sableux maigres le sesquioxyde et l'oxyde de fer et l'alumine sont particulièrement les supports du pouvoir absorbant de la couche d'Ortstein et que dans les sols sableux les plus pauvres en argile, c'est principalement le fer qui a la plus grande importance ainsi que le démontrent clairement nos analyses. Pourtant Ramann dit à ce propos : « Toutefois, on ne doit pas nier qu'une valeur plus élevée doit être attribuée au fer comme moyen de précipitation. Cela doit être admis comme certain pour l'alumine[2]. » Il est cependant difficile de trouver une raison qui autorise à attribuer une plus grande importance à l'une de ces matières.

Parmi les dix profils de Ramann, les quatre profils I, II, V et X montrent un transport uniforme d'oxyde de fer et d'alumine, ou bien le premier diffère en excédent de poids (il est fait abstraction ici de l'explication de l'acide fluorique, dont la quantité doit être présente en alumine dans la forme de l'argile). Il ressort également des cinq analyses faites par Tuxen de sols sableux maigres, dans lesquels ces deux corps sont déterminés, qu'ils suivent le même transport ou que le fer est prépondérant dans l'Ortstein[3]. C'est seulement dans les

1. Comparez *Jahrb.*, p. 42., Anm.
2. *Jahrb.*, p. 44.
3. L'échantillon d'Ortstein analysé par Emmerling et Loges semble aussi provenir

sols moins pauvres ou plus riches en argile avec Ortstein que le poids de l'alumine est supérieur (tableau II). Ces deux sesquioxydes à cause de cela, en vertu des analyses précédentes, exercent une influence sur la formation d'Ortstein; mais, dans les sols sableux les plus maigres, où celle-ci apparaît le plus fréquemment, l'oxyde de fer jouera sous ce rapport le rôle prépondérant.

Le Dr Ramann écrit : « Près de la couche d'Ortstein ordinaire qui s'étend dans les différentes couches au-dessous du sol, pourtant toujours à la limite du sable de décomposition, il se trouve encore dans les landes humides une seconde forme d'*Ort.* » Cette forme, désignée par l'auteur comme « Ortstein brun inférieur » (*unterer brauner Ortstein*), « se distingue essentiellement de la forme ordinaire [1] ». Il est plus clair et se caractérise par sa ténacité et sa décomposition difficile. Emeis n'est pas tout à fait d'accord avec Ramann dans sa caractéristique de cet Ortstein brun inférieur et refuse avec raison à celui-ci la décomposition difficile que lui a attribuée Ramann. Je dois encore ajouter ici une rectification. L'Ortstein inférieur de Ramann n'est pas à vrai dire une couche particulière, mais tout à fait analogue à l'Ortstein ordinaire, ce que met en évidence l'histoire du développement des couches représentées sur le tableau III. Là où Ramann a trouvé cette couche, c'est-à-dire sur les landes humides, c'est au contraire une couche superficielle d'Ortstein noir qui s'ajoute aux autres, produite principalement par le limonage du charbon et de la poussière d'humus, comme cela est démontré page 282 et par la figure 4 du tableau III, et a donc une origine tout autre que l'*Ort* normal qui est formé surtout par précipitation et dissolution.

Plus loin, l'honorable auteur écrit [2] : « Il est ainsi prouvé qu'il existe dans l'Ortstein une création qui, bien qu'apparaissant d'une façon prépondérante dans le domaine du pays plat, peut pourtant prendre naissance dans toute contrée et toute formation, quand les

---

d'un sol plus riche en argile que celui qui se trouve ordinairement dans les landes jütlandaises, et leur Ortstein renferme à cause de cela aussi une proportion considérable d'alumine. (*Passim*, p. 82.)

1. *Jahrb.*, p. 7-8.

2. *Jahrb.*, p. 48.

conditions de l'apparition sont données. L'objection possible que ces séparations d'Ortstein n'apparaissent pas aussi sur tous les sols sableux maigres n'a pas encore reçu de réponse au temps présent. » De cette façon très simple, le Dr Ramann rejette le résultat des observations posées dans les publications précédentes qu'il connaissait exactement et qui peuvent se résumer relativement à ce point de la façon suivante :

La question de savoir si c'est du sable plombifère ou de l'Ortstein qui se forme ou non dans une couche de terre dépend de la richesse du sol en éléments basiques et de la quantité d'acides humiques solubles formée dans la croûte terrestre. Là, l'accès de l'air est suffisant, comme dans le sol de terreau, il se forme de si petites quantités d'acides humiques solubles, que ceux-ci peuvent seulement dans les sols les plus pauvres, donner naissance à des formations de sable plombifère et d'Ortstein (Tableau III, fig. 5), et le développement sera toujours faible ici. Là où le sol est plus riche en éléments basiques, une formation d'humus tourbeux doit couvrir le sol, pour rendre possible le développement des deux couches en question.

D'autre part, l'humus tourbeux ne provoquera des formations d'Ortstein qu'exceptionnellement aux places où le sol naturel se laisse difficilement dépouiller de ses éléments basiques. On a cité deux cas de ce genre en Danemark et on peut ajouter ici que la couverture tourbeuse, dont souvent est revêtue la superficie des hautes montagnes sous une végétation d'azalées, dans les Alpes calcaires du Nord, dont le sol de décomposition est une marne riche en calcaire, n'occasionne, aussi loin que portent mes observations, aucune formation d'Ortstein. Que, d'un autre côté, de l'Ortstein puisse prendre naissance dans un sol très maigre sans humus tourbeux, j'ai eu l'occasion de l'observer dans les forêts de pin maritime dans les landes au Sud de Bordeaux. Là se trouvent, comme on sait, des formations d'Ortstein et à la vérité par places sur des espaces où le riche déchet d'aiguilles des pins est si rapidement détruit sur la terre, en été, sous l'influence du climat du Sud, que l'on marche, là où le sol est dépourvu de végétation, dans une forêt fermée, sur du sol sableux presque nu.

Mais, maintenant, sur quoi le Dr Ramann base-t-il sa conclusion

que les formations d'Ortstein ne peuvent pas exister seulement sur les pays plats, mais « dans toute région et toute formation » ? De ses 10 profils, 9 proviennent de tourbières (*Schwemmlande*) de l'Allemagne du Nord et 1 seulement du grès sableux de Bohême, et les 10 analyses concernent toutes des sols sableux maigres, alors que seulement pour le profil IV il est dit que le sous-sol est « du sable faiblement argileux » ; la conclusion qu'il tire ne peut évidemment s'appuyer sur ce matériel.

Dans les deux précédentes publications il a été cependant démontré en passant que des formations d'Ortstein peuvent exister tout aussi bien dans un sol limoneux et un sol argileux que dans le sable et j'ajoute encore à cela quelques nouvelles observations sur l'existence de l'Humusortstein sur du sol de décomposition réel et dans des couches d'argile presque plastique.

Les parties élevées de la forêt de Böhmer dans la région de la Moldavie supérieure, sont recouvertes d'épaisses forêts, principalement de sapins ordinaires (blancs) et d'épicéas ; ces peuplements ont à plusieurs places conservé en partie le caractère de l'ancienne forêt, parce que d'anciens troncs gisent étendus sur le sol et contribuent à enrichir la superficie en humus. Tandis que dans les parties plus basses, où prédominent surtout les hêtres et les sapins blancs ordinaires, on trouve le sol riche en terreau. Comme dans nos bonnes forêts, ce sol est recouvert, dans ces régions plus élevées, d'une couche tourbeuse, correspondant à la tourbe de hêtres dans les forêts danoises et à la tourbe de landes des plaines profondes du Nord de l'Europe. Sous cette couche, qui atteint souvent une puissance de plusieurs pouces, se trouve, par exemple aux environs du lac de Blöckenstein, le grès de décomposition à angles aigus du granit pauvre en feldspath décoloré tout à fait de la même façon que le sable plombifère, et sous celui-ci les matières humiques se sont déposées dans les couches d'argile limonée (*hinabgeschlämmte Thonschichte*) en des formations d'Ortstein souvent puissantes.

Le Riesengebirge, cette région bien connue de tous les Allemands du Nord, offre tout à fait les mêmes conditions. Quand, partant de Hermsdorf, on monte vers le Schneekoppe, en traversant les forêts étendues qui recouvrent le penchant Nord de la montagne, on trouve

tout en bas un terreau pauvre, çà et là entrecoupé par une formation de tourbe claire, faible, d'environ 1 pouce (0m,0261) de puissance. Mais plus on monte et plus les formations de tourbe deviennent générales, et près des *Korallensteine* (pierres de corail) se trouve déjà la tourbe ferme et sombre d'une puissance de plusieurs pouces; le granit riche en feldspath qui se trouve sous celle-ci a tout à fait le même aspect que sur les parties plus hautes de la forêt de Böhmer. Des couches de sable plombifère puissantes, consistant en grès de décomposition à angles aigus du granit, sont déposées sur des couches de coloration intense d'Humusortstein. Ces formations accompagnent le voyageur sur l'étendue entière à travers la forêt d'épicéas toujours plus claire et de moindre croissance jusqu'à la crête nue.

Sur les hautes montagnes de Norvège, j'ai eu l'occasion de faire des observations encore plus intéressantes sur l'étendue entre Drontheim et le lieu suédois *Oestersund* (détroit d'Œster) où la roche silurienne prédominante occasionne par sa décomposition la formation de sols fertiles avec de beaux pâturages, qui sont en général recouverts de terreau et brillent dans la plus splendide flore des hautes montagnes. Là où, sur ce sol fertile, se trouve çà et là de l'argile plastique qui ne se laisse traverser par l'eau que très lentement et à cause de cela, donne occasion à la transformation en marais (*Versumpfung*), ou bien où la superficie est recouverte d'une couche tourbeuse, soit encore là où se trouvent des amoncellements de sable maigre et de grès, la superficie est recouverte d'une couche tourbeuse sous laquelle existent à la façon ordinaire du sable plombifère et d'Ortstein, tandis qu'on ne peut trouver aucune trace de ces couches sur les champs d'herbes luxuriantes, recouverts de terreau. Je donne ici le dessus d'un profil, prélevé au voisinage de la station de chemin de fer Storlien (environ 600 mètres Mh.), placée à la limite de la forêt, où des bouleaux bas et rabougris dans un peuplement clair forment les avant-postes extérieurs de la végétation forestière jusqu'aux montagnes élevées privées d'arbres. Tout en haut se trouve la couche de tourbe de 16 pouces (0m,4284) ; dessous argile lavée, presque blanche, de 4-5 pouces (0m,1046-0m,1307), qui est aussi observée en Danemark sur des sols analogues (Voyez Profil 9, page 109). Au-

dessous se trouve de l'argile riche en humus, noir brun, de 3-4 pouces ($0^{m},078$ à $0^{m},1046$), qui peu à peu passe à une argile presque plastique, grise, de 5 à 6 pouces ($0^{m},1307$-$0^{m},1569$), qui à son tour est séparée par une couche de pierres de la grosseur d'un haricot, de 5 à 6 pouces ($0^{m},1307$-$0^{m},1569$) de l'argile plastique également grise du sous-sol. Ce profil est particulièrement instructif, parce qu'il fournit la démonstration immédiate de la façon dont a progressé le lavage. La limite supérieure entre l'argile et la couche pierreuse est recouverte d'une écorce de fer ocreux de plusieurs millimètres[1] ; ce fer est celui de l'argile blanche que l'eau en s'infiltrant a extrait sous forme de sel d'oxydule de fer soluble, n'a pas été absorbé par l'argile sous-jacente plus riche en bases plus puissantes, mais enfin a été *poussé* par l'air atmosphérique sur le bas de cette dernière dans la couche pierreuse, et transformé par lui en hydrate d'oxyde de fer. A une distance de quelques centaines d'*ellen* (ellen = $13^{m},81$) de ce profil, se trouvait un banc de pyrite, dont le profil a 1 pied de profondeur ($0^{m},3138$), offrant tout à fait le même aspect que celui de la figure 1, page 106. Sous une tourbe de 3 pouces ($0^{m},0784$) se trouvait du sable plombifère de 3 à 4 pouces ($0^{m},0784$-$0^{m},1046$) et dessous, une couche aussi puissante d'Humusortstein.

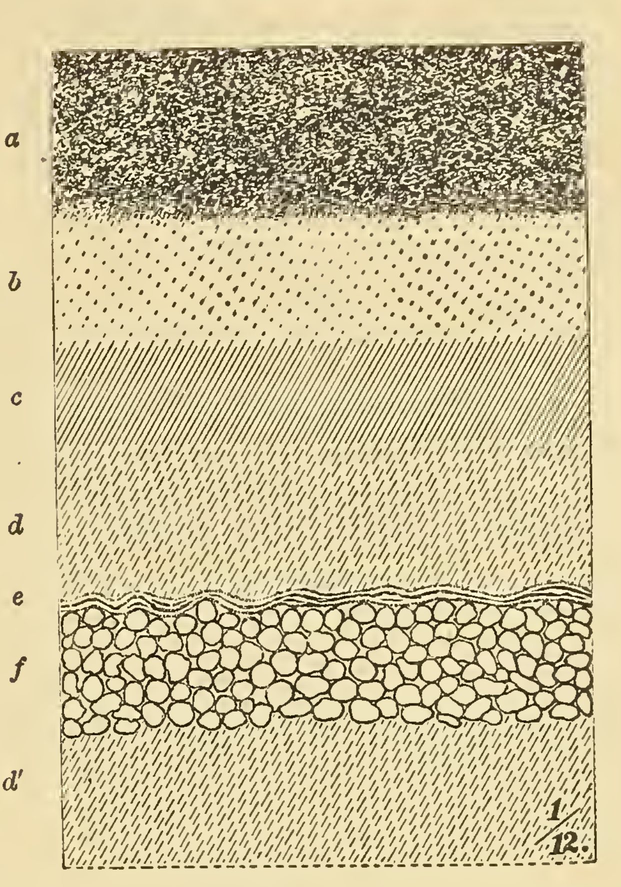


Fig. 16. — *a* couche de tourbe; *b* argile blanc grisâtre ; *c* argile brun noir, riche en humus; *d* et *d'* argile plastique gris bleu; *e* couche irrégulière dure et compacte, consistant principalement en ocre ferrugineux ; *f* couche de cailloux roulés.

Le sable fin, maigre, qui forme les dunes de sable merveilleuses de Röros, déposées sur un plateau élevé à 1,800 pieds (environ 565 m.) au-dessus de la mer, accompagne avec des variantes différentes le voyageur qui descend à travers l' « Oesterdal », boisé et long d'environ 250 kilomètres, jusqu'à Elverum et, sur ces parties de

1. La figure 16 montre la couche d'ocre un peu trop épaisse.

sable montagneuses, le sable plombifère et l'Ortstein ont dans le sol une extension extraordinaire. Pourtant, dans les forêts sur sol élevé et sec, la couche de tourbe qui couvre le sol, aussi bien que les couches sous-jacentes, est faiblement développée ; je n'ai trouvé ici l'Ortstein que sous la forme de terre rouge *terreuse* et facilement émiettable, quoiqu'il existe vraisemblablement sur des plus humides avec une puissance et une dureté plus grandes.

Si l'on se représente la grande extension de l'humus tourbeux, non pas seulement sur les montagnes élevées de l'Europe méridionale et septentrionale, mais notamment sur les Tundras qui occupent le Nord des limites de la forêt des régions arctiques sur des étendues incommensurables, alors, après que l'existence des formations d'Ortstein sous l'humus tourbeux dans toutes les régions subalpines a été démontrée, se pose la question suivante qui mériterait bien une recherche : les formations d'Ortstein de la terre les plus étendues ne devaient pas se trouver sur des emplacements de ce genre. Le professeur Warming a livré une très intéressante contribution pour la façon d'interpréter le caractère de la croûte terrestre sous un climat arctique et d'après ses observations le sol de lande dans le Groenland est recouvert d'une courche tourbeuse, tandis qu'au contraire les broussailles du pâturage (*Weidengebüsche*) basses et épaisses des meilleurs sols croissent même dans le Grœnland central sur une croûte supérieure (*Oberkruste*) meuble, en forme de terreau, habitée par les vers de terre. Si l'opinion avait besoin de confirmation en raison de la grande extension des formations d'Ortstein dans les régions arctiques, alors la vue exprimée à ce sujet page 370 trouverait un plus fort appui, c'est-à-dire que la formation de lande sur les plaines de landes maigres et uniformes du Jütland avec leurs couches puissantes de sable plombifère et d'Ortstein, est à ramener à l'époque glaciale. Certes il paraîtra tout aussi admissible que ces couches, qui se montrent ici beaucoup plus puissantes que les landes montagneuses, ont été produites justement en grande partie par la végétation de l'époque postglaciale, qui a laissé aussi derrière elle, en d'autres endroits, son résidu dans notre sol.

ÉCLAIRCISEMENT DES TABLEAUX

TABLEAU I.

Analyses de terre forestière avec terreau de hêtres. Taux pour cent des différentes matières à une profondeur inégale du sol. Trois Profils décrits pages 199-202.

TABLEAU II.

Analyses de terre forestière avec tourbe de hêtres. Taux pour cent des différentes matières à une profondeur inégale du sol. Cinq Profils décrits pages 207-209.

TABLEAU III.

Fig. 1. — Sol sableux en forme de terreau avec passage successif entre la couche supérieure du sous-sol (*Obergrund*) (*a*) couleur d'humus et le sous-sol (*Untergrund*) (*c*) couleur d'ocre, sans développement de *Thonortstein* et sans aucune trace de formation d'*Humusortstein* à son début. Ce Profil donne une image des meilleures parties dans les forêts de chênes et les broussailles (*Gebüsche*) jütlandaises sur le sable d'alluvion pauvre en argile.

Fig. 2. — Sol sableux en forme de terreau avec une faible couche d'*Humusortstein* (*b*) à son début dans la couche la plus superficielle du sous-sol ; Profil XIX décrit page 237. Ce Profil donne une image du caractère ordinaire des bonnes parties dans les forêts de chênes et les broussailles jütlandaises, sur le sable d'alluvion pauvre en argile.

Fig. 3. — Formation de lande récente, sans couche de tourbe nettement exprimée, mais, avec une formation évidente d'Ortstein tourbeux et de *Humusortstein* à son début ; Profil XXI décrit p. 237.

Fig. 4. — Ancienne formation de lande, avec un fort développement d'Ortstein tourbeux et de *Humusortstein* ; Profil XXII décrit page 238. Ce Profil donne une image du sol sur les parties plus humides des anciennes formations de landes.

Fig. 5. — Terreau de broussailles (*Gebüsch-Mull*), mouvant avec la couche supérieure du sous-sol (*Obergrund*) analogue au sable plombifère ; Profil XX, décrit page 225.

Fig. 6. — Le sol dans une ancienne étendue de sable mouvant couverte. Tout en haut formation de tourbe récente avec sable plombifère et Ortstein, dans le sable amoncelé par le vent ; au-dessous, des restes de la croûte de lande couverte avec d'ancien sable plombifère et de l'*Humusortstein*. Sables de Birckebäk ; voyez page 323.

Fig. 7. — Le même sol dans le même emplacement ; la couche tout entière de sable amoncelé est dépouillée de son oxyde de fer.

Fig. 8. — Sol avec partie supérieure du sous-sol (*Obergrund*) (*b*) en forme de terreau; avec du Thonortstein et des *gros morceaux* (Knollen) (β) gisant au haut et un sous-sol argileux (γ). Sol de lehm à fond plat dans la forêt de Sofie-Amoliegard dans le Jütland. Voyez page 317.

TABLEAU IV.

Fig. 1. — Représentation des transports de l'oxyde de fer et de l'argile à une profondeur variant de 0 à 40 pouces (1^m,046) en forme de terreau et dans le sol argileux recouvert de tourbe avec peuplement de hêtres. La quantité de ces deux corps à une profondeur de 40 pouces (1^m,046) est posée = 100, et la quantité de ces mêmes matières dans les autres couches est exprimée par rapport à ce nombre. Nombres moyens d'une série de déterminations.

Fig. 2. — Représentation du transport de l'oxyde de fer et de l'argile à une profondeur variant de 0 à 40 pouces (1^m,046) dans du sol sableux en forme de terreau et du sol sableux recouvert de tourbe du Jütland occidental, le premier recouvert d'une forêt de chênes et de broussailles, le dernier de bruyère. Toutes les données sont exprimées en rapport avec la quantité de ces deux corps qui se trouvait à une profondeur de 40 pouces (1^m,046) dans le sol de lehm représenté par la figure 1. Nombres moyens d'une série de déterminations ; mais pour quelques-uns d'entre eux les données citées sont calculées, parce qu'il n'existait qu'une seule détermination quantitative du total de l'oxyde de fer et de l'alumine ; l'alumine est calculée d'après un taux pour cent moyen, trouvé par une série d'analyses dans des emplacements tout à fait analogues, et que cette matière représentait dans la somme des deux.

TABLEAU V.

Fig. 1. — Taux pour cent d'oxyde de fer et d'alumine dans le sable plombifère, Humusortstein et sous-sol dans les quatre différents pays de landes et de forêts recouverts de tourbe dont les noms suivent : Profil XV, Strandskov, décrit page 401. Profil XVI, Sölleröd Kirkeshov, décrit page 403. Profil XVII, Forêt près Silkeborg, décrite pages 404-405, et Profil XVIII, Lande près Herning, décrite pages 405-406.

Fig. 2. — Taux pour cent de matière organique dans les mêmes échantillons de terre.

Fig. 3. — Donnée de la quantité phosphorique absorbée d'une dissolution de 100^{cc} et par 100 grammes de terre exempte de pierres, provenant des mêmes échantillons.

Fig. 4. — Donnée de la quantité d'ammoniaque absorbée d'une dissolution de 100 centimètres cubes par 100 grammes de terre exempte de pierres provenant des mêmes échantillons.

TABLEAU VI.

Fig. 1. — Taux pour cent d'oxyde de fer et d'alumine (ensemble) dans du bon terreau de broussailles (*Gebüchsmull*) [Profil XIX, Tableau III, Fig. 2], dans du

terreau de broussailles analogue au sable plombifère (Profil XX, Tableau IV, Fig. 5), dans une jeune lande (Profil XXI, Tableau III, Fig. 3) et dans une ancienne lande (Profil XXXII, Tableau III, Fig. 4), dans la couche supérieure du sous-sol (*Obergrund*), *Humusortstein* et dans le sous-sol exempt d'Ortstein.

Fig. 2. — Taux pour cent de matière organique dans les mêmes échantillons de terre.

Fig. 3. — Donnée de la quantité d'acide phosphorique absorbée d'une dissolution de 100 centimètres cubes par 100 grammes de terre exempte de pierres, provenant des mêmes échantillons.

Fig. 4. — Donnée de la quantité d'ammoniaque absorbée d'une dissolution de 100 centimètres cubes par 100 grammes de terre exempte de pierres, provenant des mêmes échantillons.

TABLEAU VII.

Fig. 1. — Taux pour cent d'oxyde de fer et d'alumine à différentes profondeurs dans un sol forestier en forme de terreau et un sol argileux peuplé de hêtres dans les trois emplacements suivants : Profil XII, Gelsskov, décrit page 400 ; Profil XIII, Gelsskov décrit page 401 ; Profil XIV, Store Hareskov, décrit pages 401-402.

Fig. 2. — Taux pour cent de matière organique et d'argile dans les mêmes échantillons de terre.

Fig. 3. — Donnée de la quantité d'acide phosphorique, absorbée d'une dissolution de 100 centimètres cubes par 100 grammes de terre exempte de pierres, provenant des mêmes échantillons.

Fig. 4. — Donnée de la quantité d'ammoniaque, absorbée d'une dissolution de 100 centimètres cubes par 100 grammes de terre exempte de pierres, provenant des mêmes échantillons.

INFLUENCE DE LA FORÊT

ET

DE LA CONSISTANCE DES PEUPLEMENTS

SUR LE DEGRÉ D'HUMIDITÉ DU SOL

ET SUR LA QUANTITÉ D'EAU INFILTRÉE[1]

PAR

Le Dr EBERMAYER

PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE MUNICH



Déjà il y a 20 ans, en 1868-1869, j'ai cherché à déterminer, à l'aide du lysimètre, les quantités d'eau infiltrées à 1, 2 et 4 pieds de profondeur, dans un sol plat et horizontal, suivant que le terrain est boisé ou en rase campagne. J'ai opéré dans diverses forêts domaniales du royaume de Bavière (cantonnements de Duschlberg, dans le Bayrischerwald; de Seeshaupt, près du lac de Starnberg; de Rohrbrunn, dans le Spessart; de Johanneskreuz, dans le Pfälzerwald; d'Ebrach, dans le Steigerwald et d'Altenfurt, dans le Reichswald de Nuremberg)[2]. Parmi les résultats auxquels ces recherches ont conduit, voici les principaux :

En *plein champ,* c'est en hiver qu'un sol nu et dépourvu de végétation présente le plus d'eau d'infiltration, et il en est ainsi aussi

1. Article paru dans l'*Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung,* numéro de janvier 1889.

2. Voir mon livre intitulé : *Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft and Boden,* 1873, p. 20 et p. 215. (*Note de l'auteur.*)

longtemps que la terre n'est point gelée ; au printemps, il y en a un peu moins, puis vient l'automne, et c'est en été que l'eau d'infiltration est le plus rare, bien que, sous notre latitude, il tombe plus d'eau en été que dans les autres saisons. Mais, dans cette période de l'année, l'évaporation est si active, que la quantité d'eau infiltrée à 1 pied de profondeur est 3 fois et demi, à 2 pieds, 4 fois et demi, et, à 4 pieds, 7 fois et demi plus faible qu'en hiver. Pendant la saison froide, la quantité d'eau infiltrée augmente avec la profondeur; en été, au contraire, il y a, à 4 pieds de profondeur, à peine moitié autant d'eau qu'à 1 pied.

Quant aux *sols forestiers,* ce n'est pas en hiver, mais au printemps qu'ils renferment le plus d'eau dans les couches inférieures, et ce fait s'explique par la lenteur de la fonte des neiges, surtout sous les peuplements de résineux. Un autre phénomène encore caractérise les sols forestiers : la couverture n'y a pas, en hiver, d'influence appréciable sur la quantité d'eau infiltrée, tandis qu'en été, un sol forestier, garni de litière, laisse arriver jusqu'aux parties profondes trois fois plus d'eau qu'un sol nu, en rase campagne, et encore près de deux fois plus lorsqu'il n'est pas pourvu de litière. D'une manière générale, pendant la saison chaude, il pénètre plus d'eau dans un terrain boisé, ou plutôt abrité, que dans un terrain nu et dépourvu de végétation. Mais, si l'on établit une moyenne pour l'année entière, on constate que, même quand ils sont munis d'une couverture, les sols forestiers laissent pénétrer seulement jusqu'à deux pieds de profondeur plus d'eau que les champs nus et que l'influence de la forêt et de la litière ne s'étend dès lors que jusqu'aux couches supérieures du sol, jusqu'à la région occupée par les racines.

Le degré plus élevé d'humidité atteint par les couches superficielles, grâce à l'influence de l'état de massif et de la couverture du sol, a l'effet que voici : les plantes d'ombre, qui exigent beaucoup d'eau, comme les champignons, les mousses, les lycopodes, les fougères, les aroïdées, les orchidées, etc., s'installent dans les terrains boisés où ils trouvent à la fois de la fraîcheur et une grande abondance de principes organiques (*humus*) qui leur fournissent l'alimentation qu'elles réclament.

Mais il ne faudrait pas conclure des recherches susmentionnées

qu'un sol forestier est, à une grande profondeur aussi bien qu'à la surface, plus humide qu'un terrain non boisé, et que la forêt exerce, par conséquent, une grande influence sur la richesse d'une contrée au point de vue du nombre et du débit des sources. Je m'étais moi-même laissé entraîner à cette opinion lorsque j'ai écrit mon livre précité ; mais je vois aujourd'hui, d'après mes nouvelles recherches, que les conclusions formulées alors n'étaient valables que pour un sol dégarni de végétation, abrité contre le vent et pourvu d'une couverture morte (feuilles, mousse), et non pour un sol forestier. Les arbres, en effet, grâce aux innombrables filaments de leur chevelu, absorbent tous les jours, pendant la période d'activité des organes de nutrition, une si grande quantité d'eau que, dans la région occupée par les racines, le sol est plus sec que ne l'est à la profondeur correspondante un champ de même constitution minéralogique. Les bons effets de l'état de massif et de la couverture ne consistent donc qu'en ceci : il est mis à la disposition des arbres, pendant la saison de végétation, plus d'eau et, par suite, plus de principes alimentaires dissous que ne leur en fournirait un peuplement entr'ouvert, mal clos, donnant accès au vent et au soleil.

Les observations dont il va être rendu compte ci-après, permettent de mieux débrouiller ces faits complexes. Quatre à cinq fois par mois, *de juillet 1884 à juin 1885,* dans la maîtrise royale de Bruck, en Haute-Bavière, M. le Dr Baumann, mon assistant, a déterminé les quantités d'eau que renfermait, à 40 et à 80 centimètres de profondeur, une terre limoneuse très forte (*schwerer Lehmboden*). Il a opéré sur quatre sortes d'emplacements :

1° Un gaulis d'épicéa de 25 ans ;

2° Un perchis d'épicéa de 60 ans ;

3° Une futaie exploitable d'épicéa de 120 ans ;

4° Un terrain nu, non boisé, de la même constitution que les précédents.

Les résultats numériques de ses recherches sont groupés dans le tableau de l'annexe 1 [1].

Il est incontestable que, dans la région des racines (40 à 80 centi-

1. Voir ce tableau à la suite de l'article.

mètres de profondeur), les sols forestiers ont été, pendant toute l'année, sensiblement plus secs que les sols nus en pleins champs. C'est surtout sous le perchis et le gaulis que le sol était pauvre en eau, tandis que, dans la futaie exploitable, l'humidité du sol se rapprochait déjà de ce qu'elle était en terrain nu. Le gaulis, trop serré, végétant mal, a soutiré du sol moins d'eau que le perchis ; le peuplement exploitable, lui, en a pris moins encore, et c'est la place nue, non plantée, qui est demeurée la plus humide. Ces recherches ont également confirmé d'autres faits énoncés plus haut, à savoir que, pendant la saison froide, le sol, aussi bien en forêt qu'en rase campagne, est plus riche en eau qu'à l'automne et en été, et que, même en hiver, dans la couche du sol forestier où vivent les racines, il y a moins d'humidité que dans un terrain nu non boisé. Ce dernier phénomène s'explique par la considération qu'une partie notable de la neige tombée est arrêtée par les houppiers des arbres, surtout des résineux, et, lors même qu'au dégel une fraction de cette neige, restée d'abord adhérente aux arbres, dégoutte à terre ou coule le long des branches et des tiges, il n'en est pas moins vrai que la portion évaporée est perdue pour le sol forestier. Sans compter que les racines les plus profondément enfoncées ne sont pas tout à fait inactives, même pendant la saison froide.

Une *seconde série de recherches,* analogues aux premières, a été exécutée sur les mêmes emplacements, de juillet 1885 à juillet 1886, mais à des profondeurs de 0-5, 15-20, 30-35, 45-50, 75-80 centimètres, afin de déterminer aussi par des mensurations directes l'influence de la forêt sur les couches superficielles du sol. Les résultats de ces observations minutieuses sont consignés dans l'annexe II (tableaux A et B)[1]. J'ai eu la grande satisfaction de voir cette nouvelle série confirmer le fait que les observations antérieures au lysimètre avaient déjà permis d'établir, à savoir que, en forêt, *les couches superficielles du sol,* tant qu'elles ne sont point parcourues en tous sens par les racines, sont sensiblement plus humides que les mêmes couches dans un champ dépourvu de végétation. Plus le sol est ombragé, grâce à l'état de massif, plus la circulation de l'air est entra-

1. Voir ces tableaux à la suite de l'article.

vée, plus, enfin, on met de soin à conserver une litière (sans pourtant la laisser devenir trop épaisse), moins les couches superficielles du sol perdent d'eau par évaporation. J'ai reconnu que, conformément à cette loi, un sol recouvert d'un tapis de mousse renfermait, jusqu'à 5 centimètres de profondeur :

Dans le gaulis.	30.93	p. 100 de son poids d'eau [1].	
Dans le perchis	29.48	—	—
Dans le massif exploitable. . . .	40.32	—	—

tandis que la couche correspondante en plein champ ne présentait en moyenne que 22.33 p. 100 d'eau.

La faiblesse de l'évaporation qui a lieu en forêt se manifeste ici d'une façon frappante. On peut observer un phénomène analogue dans les champs cultivés où, par suite de l'ombrage et de la moindre agitation de l'air, les couches supérieures du sol demeurent également plus humides que dans un terrain inculte.

Mais si, en forêt comme dans les champs cultivés, on pénètre jusqu'à la région occupée par les racines, on voit que l'humidité du sol diminue sensiblement, tandis que, dans un terrain en friches, la teneur en eau augmente de haut en bas.

Ce fait des plus importants doit surtout, comme il a déjà été dit, être attribué à la grande quantité d'eau que consomment les arbres et les plantes agricoles. Ces végétaux, en effet, avec leurs innombrables radicelles, ramifiées en tous sens, dessèchent le sol à tel point que son degré d'humidité descend plus bas que celui d'un terrain inculte. En été, c'est-à-dire au moment où l'activité des racines avait atteint son apogée, l'humidité du sol était, dans le voisinage de celles-ci, d'environ 3 p. 100 plus faible sous le gaulis et le perchis que sous la futaie exploitable et qu'en rase campagne [2]. En

1. La grande teneur en eau constatée dans les couches supérieures du sol, sous la utaie exploitable, s'explique par cette circonstance que l'on a recueilli quelquefois les échantillons correspondants peu de temps après la pluie, et que, naturellement, la pluie mouille plus le sol dans les vieux peuplements clairs que dans les jeunes massifs serrés. (*Note de l'auteur.*)

2. Une différence de 3 p. 100 paraît insignifiante ; mais si l'on calcule la quantité d'eau totale à laquelle cette différence correspond par hectare et pour 1 mètre de profondeur, on obtient un chiffre très élevé. (*Note de l'auteur.*)

automne, on a constaté une différence moindre; mais c'est en hiver et au printemps, quand les racines ne fonctionnaient presque pas, qu'elle était la plus insignifiante.

En 1885-1886, comme en 1884-1885, le sol, sous le perchis d'épicéas, a été plus sec que sous le gaulis, tandis que, sous le peuplement exploitable, l'humidité du sol a atteint à peu près le même degré qu'en rase campagne. C'est, en effet, dans la phase moyenne de leur existence, quand leur croissance est le plus active, et que la consommation d'eau et de principes nutritifs est, par conséquent, maximum, que les arbres dessèchent le plus le sol. Quand les bois sont jeunes, que, à cause de l'état serré où ils poussent, la croissance de chaque individu est très ralentie et que, à cause du peu de développement des cimes, la perte d'eau par transpiration est réduite à peu de chose, il reste dans le sol plus d'eau que lorsque le peuplement est devenu un perchis. Dans les futaies exploitables, la consommation d'eau diminue d'autant plus qu'il y a moinsd'arbres sur pied et que les conditions de l'accroissement sont plus défectueuses à un âge avancé. Comme, en même temps, par suite de la consistance claire des tiges, les précipitations atmosphériques ont libre accès sur le sol, la dessiccation de celui-ci ne peut atteindre, dans la région des racines, le degré auquel elle parvient dans les massifs plus jeunes. La teneur en eau de la couche où se développent les racines se rapproche donc, dans les vieux peuplements clairiérés, de ce qu'elle est dans un champ non cultivé.

Pour obtenir encore de nouvelles données sur l'action de drainage opérée par les arbres, j'ai entrepris, en 1886-1887, une *troisième série d'expériences* qui a permis de faire *la preuve expérimentale* de la propriété asséchante des végétaux ligneux. Je fis pratiquer dans le jardin de la station d'expérimentation forestière de Munich, sur une surface convenable, une excavation de 120 centimètres de profondeur ; je choisis ensuite 5 carreaux de 4 mètres carrés de superficie, qui furent séparés les uns des autres par des cloisons de $0^{m},45$ d'épaisseur. Pour rendre ces cloisons étanches, je les fis remplir d'un mélange de pierrailles et de sable calcaires additionné de ciment qui devint, en peu de temps, dur comme la roche. L'aire de chacune de ces fosses de 4 mètres carrés a été pourvue d'une dé-

pression en forme de caniveau et rendue imperméable à l'eau, grâce à une couche de ciment, si bien que toute l'eau d'infiltration rassemblée dans ce caniveau est obligée de s'écouler à l'endroit le plus profond (au milieu), par un long tuyau de grès qui y est adapté. Les extrémités de ces conduits débouchent dans un souterrain muré de $1^m,2$ de largeur et de 5 mètres de longueur, où l'on a ménagé assez d'espace pour rassembler l'eau infiltrée et la mesurer. Un escalier de pierre donne accès à ce souterrain, qui est muni d'une porte. Pour protéger l'escalier contre la pluie, la neige, etc., on a établi horizontalement au-dessus de l'entrée, une grande plaque de tôle glissant sur des roulettes, et qu'on repousse lorsqu'on veut pénétrer dans le souterrain.

Cette installation avait d'abord pour but de permettre des recherches relatives à la quantité d'eau qui s'infiltre et s'évapore dans des sols de différentes espèces[1]. Ces observations ont été poursuivies pendant 4 ans et ont conduit à des résultats qui sont aussi d'une grande importance pour la théorie des sources et qui seront publiées à cet effet. En 1886 et 1887, l'installation dont il s'agit a été utilisée en vue d'établir dans des conditions aussi conformes que possible à celles que présente la nature, l'influence de diverses sortes de couvertures mortes et vivantes sur l'humidité du sol et sur les quantités d'eau infiltrées. A cette fin, on remplit les cinq compartiments susmentionnés (de 4 mètres carrés de surface et de 120 centimètres de profondeur chacun) de terre de jardin, fine, riche en humus et parfaitement homogène, qu'on pilonna soigneusement. L'une des surfaces d'expérience fut garnie d'épicéas de 6 ans ; la seconde, de hêtres de 6 ans également ; la troisième, de mousse (sans plants) ; sur la quatrième, on sema du gazon, tandis que la cinquième resta dépourvue de toute couverture. Le remplissage des compartiments et leur plantation ont eu lieu au printemps 1885, mais les observations régulières ne commencèrent qu'en janvier 1886, après que la terre se

1. Elle a déjà été signalée à ce titre par MM. Reuss et Bartet (*Études sur l'expérimentation forestière en Allemagne et en Autriche,* Berger-Levrault et Cie, Nancy, 1884, p. 224). (*Note du traducteur.*) On en trouve le plan figuré et la description dans un ouvrage de M. Ganghofer (*Forstliches Versuchswesen.* Schmidt, Augsbourg, 1882, t. II, 1er fasc.). (*Note de l'auteur.*)

fut normalement tassée et que les plants se furent convenablement enracinés.

Le degré de l'influence exercée par les couvertures susmentionnées sur la teneur en eau du sol et sur les quantités d'eau infiltrées est exprimé numériquement dans l'annexe III (tableaux A, B et C)[1].

Le tableau A montre que les petits épicéas plantés en massif serré, qui ombrageaient fortement le sol, ont maintenu les couches superficielles (jusqu'à 10 centimètres) plus humides que les plants de hêtre de même âge. C'est surtout l'influence de la *couverture de mousse* qui s'est fait sentir dans la conservation de l'humidité du sol ; cette influence diminuait, d'ailleurs, de haut en bas[2]. Le gazon est l'opposé de la mousse ; par suite de l'activité de ses racines, il dessèche les couches superficielles du sol beaucoup plus que les jeunes plants d'épicéa et de hêtre. D'après cela, les herbes des prairies et d'autres plantes agricoles vivaces réclament plus d'eau que les végétaux forestiers ; et, parmi ceux-ci, les hêtres et les épicéas, avec leurs racines traçantes, souffrent plus de la sécheresse que les chênes, les pins, etc., dont l'enracinement est pivotant. De longues périodes de sécheresse sont, pour le même motif, encore plus nuisibles aux prairies qu'aux jeunes plants forestiers.

Ces résultats sont complètement d'accord avec ceux qu'ont fournis les recherches exécutées dans la maîtrise de Bruck et les observations antérieures au lysimètre. Les données recueillies dans le jardin de Munich ont permis, en outre, de constater que, dans son ensemble, le sol couvert de mousse, non garni de plants, demeure toute

---

1. Voir ces tableaux à la suite de l'article.

2. Toutes les couvertures végétales mortes absorbent, avant d'être mouillées de part en part, une certaine quantité d'eau qui n'arrive pas, dès lors, au sol sous-jacent. Malgré cela, ces couvertures augmentent l'humidité du sol et la quantité d'eau filtrée, parce qu'elles abritent le terrain contre les agents d'évaporation (chaleur et vent). Leur rôle d'abri devient de plus en plus accusé au fur et à mesure que la couverture s'épaissit, mais seulement jusqu'à une certaine limite (15 à 20 centimètres). Quand cette limite est dépassée, la couverture, d'après les expériences de Wollny, n'influe plus davantage sur l'évaporation ; par contre, la quantité d'eau de pluie qu'elle absorbe et retient s'accroît tellement que la quantité d'eau d'infiltration diminue d'autant, ainsi que le degré d'humidité du sol. (*Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik*, t. XI, 1888, p. 48). (*Note de l'auteur.*)

l'année le plus humide ; puis vient la terre nue, dépourvue de végétation ; le sol planté de hêtres et d'épicéas est toujours resté pauvre en eau ; enfin, la plus grande sécheresse s'est constamment manifestée sous le gazon, surtout dans les couches supérieures du sol. C'est une nouvelle preuve que les prairies enlèvent au sol, dans la région des racines, plus d'eau que les jeunes plants d'épicéa et de hêtre.

Dans les saisons chaudes (été et automne), l'effet de la couverture est beaucoup plus considérable que dans la saison froide.

Les données que renferme le tableau B sont tout à fait d'accord avec les précédentes : le compartiment recouvert de mousse a fourni, en 1886 comme en 1887, le plus d'eau d'infiltration ; la terre nue venait après, et finalement les emplacements plantés de hêtre et d'épicéa. Par malheur, il est survenu, dans le compartiment ensemencé de gazon, des dégradations qui m'ont obligé à suspendre provisoirement la publication des données recueillies à l'égard de l'eau qui s'y est infiltrée. Mais cette lacune n'est pas très grave, car on possède déjà des observations, datant de 1869-1870, sur la manière dont l'eau atmosphérique se comporte sur un terrain gazonné[1]. M. le professeur J. Wolldrich a déterminé, à Oberdöbling, près de Vienne, les quantités d'eau qui ont pénétré et se sont infiltrées jusqu'à deux pieds de profondeur dans un terrain recouvert de gazon, et il les a comparées à celles qu'il avait observées dans un champ dépourvu de végétation. D'après ces expériences, il passait, en quelque saison que ce fût, moins d'eau à travers le sol de la prairie qu'à travers le sol nu. C'est en hiver que la différence était la plus faible, surtout en janvier et en février ; mais, déjà en mars, elle atteignait un chiffre assez élevé à cause de la plus grande quantité de neige fondue qui avait pénétré dans le sol nu ; au fur et à mesure que la végétation se réveillait, la différence augmentait de plus en plus ; elle devenait maximum en juin, juillet et août ; puis elle diminuait de nouveau peu à peu. Les pluies légères sont tout à fait perdues pour les terrains gazonnés, attendu que les gouttelettes

1. *Œsterreichische Meteorologische Zeitschrift*, t. VI, 1871, p. 113. (*Note de l'auteur.*)

restent suspendues aux hampes et aux feuilles, et qu'elles s'évaporent.

Les expériences de M. E. Wollny nous montrent aussi à quel point extraordinaire la quantité d'eau qui s'infiltre à travers un tapis de gazon est faible par rapport à ce que l'on observe dans une terre en friche[1]. De mai à octobre 1874, il est tombé, sur un sol formé de sable calcaire, riche en humus, 49,409 centimètres cubes d'eau de pluie par 1,000 centimètres carrés; là-dessus, il s'est infiltré, toujours par 1,000 centimètres carrés, 19,351 centimètres cubes dans la terre en friche et 9,502 centimètres cubes dans le terrain gazonné. En 1875, la quantité de pluie tombée pendant les mêmes mois s'éleva à 56,712 centimètres cubes et voici les volumes qui s'infiltrèrent par 1,000 centimètres carrés :

		CENTIM. CUBES.
Sur un sol sablonneux . .	Dans la terre en friche	36,780
	En terrain gazonné.	8,035
Sur un sol argileux. . .	Dans la terre en friche	18,579
	En terrain gazonné.	718
Sur un sol tourbeux . .	Dans la terre en friche	24,876
	En terrain gazonné.	4,921

On voit donc que les écoulements souterrains ont été très sensiblement abaissés par l'influence du gazon.

Pour en revenir à mes propres expériences, le tableau B fait voir qu'au printemps, puis en hiver, il s'infiltre beaucoup plus d'eau au travers du sol qu'en été et en automne, bien qu'en Bavière l'été soit la saison la mieux dotée sous le rapport des précipitations atmosphériques. Il résulte de là que la saison froide a plus d'importance, au point de vue de l'alimentation des sources, que les époques chaudes de l'année. En été et en automne, ce sont les sols plantés qui fournissent le moins d'eau d'infiltration ; les sols nus, non garnis de végétaux vivants, en donnent sensiblement davantage ; les terrains, également dégarnis de végétation, mais couverts de mousse, sont ceux où il y en a le plus. Cette gradation s'explique facilement : un

1. *Forschungen aus dem Gebiete der Agrikulturphysik*, . XI, p. 58. (*Note de auteur.*)

sol réclame, pour remplacer les pertes dues à l'évaporation et pour se saturer, d'autant plus d'eau atmosphérique qu'il était auparavant plus desséché ; comme un terrain couvert de mousse présente toujours un plus haut degré d'humidité qu'un champ nu, dépourvu de végétation, il a besoin de moins d'eau pour compenser les pertes dont il s'agit et arriver à la saturation ; on y trouve donc un excédent plus considérable sous forme d'eau d'infiltration.

Un fait à noter, c'est que le sol planté de hêtres a laissé passer, en hiver et au printemps, beaucoup plus d'eau jusqu'aux parties profondes, que le compartiment garni d'épicéas. Ce phénomène tient évidemment à ce que, aux dites époques, les jeunes épicéas, qui poussent en massif très serré, ne permettent pas aussi bien que les hêtres, alors dépouillés de leurs feuilles, à l'eau atmosphérique d'arriver jusqu'au sol. Mais, en été et en automne également, la placette de hêtres a donné un peu plus d'eau d'infiltration que la placette d'épicéas : cela prouve que les épicéas maintiennent le sol plus sec que les hêtres, quoique les résineux, d'après les observations de Höhnel, à Vienne, possèdent un pouvoir de transpiration 4 à 5 fois plus faible que les feuillus et consomment moins d'eau pendant la saison de végétation[1]. Les observations ombrométriques, effectuées dans les forêts, ont toujours montré, en effet, que, dans les massifs serrés d'épicéa, il tombe en été et en automne, aussi bien qu'en hiver, beaucoup moins d'eau atmosphérique sur le sol que dans les peuplements de hêtre, parce que la voûte foliacée chez ceux-ci est moins épaisse. De plus, les hêtres semblent maintenir le sol plus poreux et plus meuble que les épicéas, circonstance à laquelle j'ai été rendu attentif par des recherches nombreuses et ininterrompues sur l'air contenu dans le sol. De ces recherches, il résulte que, toutes choses égales d'ailleurs, l'air du sol est plus riche en oxygène sous les massifs de hêtre que dans les massifs d'épicéa, ce qui ne s'explique que par un renouvellement plus fréquent de

---

1. *Mittheilungen aus dem forstl. Versuchswesen Œsterreichs,* t. II, fasc. 1er et 3e. En Allemagne, l'influence asséchante des forêts, particulièrement de celles d'épicéas, est connue depuis longtemps. En France, on a aussi déjà observé plusieurs fois, d'après les indications de M. Sartiaux, ingénieur en chef des ponts et chaussées, que les forêts de pins (*Pin. sylv.*) peuvent dessécher un terrain marécageux. (*Note de l'auteur.*)

l'air dans le premier cas, c'est-à-dire par une plus grande porosité du terrain garni de hêtres.

Quand on compare les quantités d'eau tombées annuellement (mesurées à l'aide des ombromètres installés dans le jardin d'essai) avec les quantités d'eau infiltrées, on est étonné de la faiblesse des secondes par rapport aux premières. En 1886, il est tombé, en tout, 957^{mm},95 ; en 1887, jusqu'en décembre, 634^{mm},15. Là-dessus, voici ce qui s'est infiltré :

	EN 1886.		EN 1887.	
	mm.	p. 100.	mm.	p. 100.
Par le sol couvert de mousse	67,13	= 7.0	39,82	= 6.2
Par le sol nu (dépourvu de végétation) .	49,41	= 5.1	22,55	= 3.5
Par le terrain planté de hêtres.	39,39	= 4.1	18,77	= 2.9
Par le terrain planté d'épicéas.	29,35	= 3.0	9,90	= 1.5

Les variations des quantités d'eau d'infiltration suivant les saisons peuvent se déduire du tableau B.

Rien ne saurait mieux donner une idée de l'influence de la sécheresse de l'année 1887, sur l'humidité du sol et la quantité d'eau infiltrée, que ne le font les nombres des tableaux B et C.

C'est sur le sol couvert de mousse que l'action de la sécheresse atmosphérique a été le moins sensible ; la propriété qu'a cette sorte de couverture, de diminuer l'évaporation et de garder l'eau, s'est très clairement manifestée en été et en automne ; car 100 millimètres d'eau tombée pendant l'été et l'automne secs de 1887 ont donné, en moyenne, autant d'eau d'infiltration que dans l'année 1886, qui a été pourtant plus humide[1]. Le terrain nu nous apprend jusqu'à

1. Un lit de feuilles ou de paille, de 15 à 20 centimètres d'épaisseur, agit d'une manière analogue à celle de la mousse. Il en est de même d'une couverture de fumier, de plantes mortes, de sciure de bois, de tan ; ou encore d'un dépôt de sable de 5 à 8 centimètres, bref d'une litière formée par une substance quelconque meuble et perméable, qui diminue l'action des rayons solaires directs, de l'air chaud et du vent sur la surface du sol et la protège contre l'évaporation. Même la culture à la houe diminue l'évaporation des couches profondes, parce que les mottes superficielles, ameublies et rapidement desséchées, entravent, comme le ferait un dépôt de sable, les facteurs de l'évaporation, et que les grandes cavités déterminées par le sarclage empêchent l'eau d'arriver à la surface par capillarité. Mais la culture à la houe est, en général, d'un moins heureux effet qu'une couverture composée de substances inertes, parce que les mottes ameublies sont bientôt de nouveau réduites par les pluies en particules ténues. (*Note de l'auteur.*)

quel point l'évaporation et le dessèchement du sol augmentent après l'enlèvement de la mousse : la perte d'eau y a été sensiblement plus grande et le volume d'eau infiltré notablement plus faible. Qu'à cela s'ajoute encore l'action asséchante des plantes (hêtres, épicéas, etc., etc.), et telle est la quantité d'eau enlevée au sol, qu'en été et à l'automne l'infiltration est souvent complètement suspendue durant des semaines et des mois, ou, du moins, réduite durant ce temps à un minimum.

On a déjà signalé plus haut combien les volumes d'eau infiltrés ont été extraordinairement faibles par rapport aux volumes tombés (tableau B). Ce fait pourrait servir à infirmer la théorie de Volger sur les sources (*Meteorol. Zeitschrift,* livraison de novembre 1887), si notre globe était recouvert uniformément d'une couche d'un mètre de terre de jardin potager, riche en humus. Mais je montrerai prochainement, par des chiffres, que, dans des milieux plus filtrants, la proportion de l'eau tombée par rapport à l'eau infiltrée est tout autre que dans une terre de potager riche en humus. Les observations dont il vient d'être parlé, n'ont d'autre résultat que de faire constater une fois de plus la propriété bien connue de l'humus ou terreau, d'être, de tous les éléments constitutifs du sol, celui qui peut absorber la plus grande quantité d'eau, et d'être aussi celui qui contribue le plus à augmenter et à conserver la fraîcheur du sol. Dans la couche de terre potagère, riche en humus, profonde de 120 centimètres, qui est restée dépourvue de végétation, il n'y a pas eu, pendant l'année 1886, moins de 80 p. 100 du volume d'eau tombé qui ait été absorbé, puis de nouveau restitué peu à peu à l'atmosphère par l'évaporation ; pendant l'année sèche 1887, il y en a même eu 86 p. 100. Les quantités d'eau qui s'infiltrent sont, *relativement* aux quantités tombées, d'autant plus grandes que la saison est plus froide. Grâce aux recherches exactes dont il vient d'être rendu compte, il est hors de doute, maintenant, que, dans les forêts où l'état de massif est normalement complet, les couches superficielles du sol sont, il est vrai, plus humides, en moyenne, que la surface des sols nus, mais que, par contre, la région du sol forestier d'où les arbres tirent leur eau (la région des racines), se montre d'autant plus sèche, comparée à un champ inculte, que la consommation

d'eau faite par les arbres et leur aptitude à transpirer sont plus grandes ; que la période de végétation dure plus longtemps ; que les tiges forment des peuplements plus serrés et plus vigoureux avec des cimes aussi développées que possible (perchis) ; enfin que les sujets considérés retiennent mieux les précipitations atmosphériques dans leurs houppiers (résineux à feuilles persistantes)[1]. Dans la haute montagne, là où la période de végétation est courte, l'action asséchante de la forêt peut ne pas atteindre le même degré que dans les dépressions et dans les plaines. Il va également de soi que cette action est beaucoup plus intense pendant la période de végétation qu'en hiver et au printemps.

Une interruption sensible dans l'état de massif ; une éclaircie trop forte, pratiquée dans les peuplements ; la mise à nu du sol par suite d'une coupe à blanc étoc ; autrement dit, un plus faible ombrage et une agitation plus grande de l'air provoquent à un haut degré le dessèchement des couches supérieures du sol, surtout lorsque celui-ci vient à s'enherber fortement. En même temps, ces opérations activent beaucoup la décomposition des détritus et font disparaître rapidement la couverture de terreau, ce qui diminue aussi d'une d'une façon sensible la quantité d'eau mise à la disposition des racines et la fertilité du sol.

Le volume d'eau enlevé au sol et l'action asséchante des arbres varient, comme il a été dit plus haut, suivant l'aptitude qu'ont les espèces à transpirer. Les feuilles des frênes, des ormes, des érables, des peupliers pyramidaux, qui sont riches en eau et en cendres, et qui transpirent fortement, consomment plus d'eau que les feuilles des chênes et des hêtres, lesquelles sont plus pauvres en eau et en cendres, et qui transpirent moins activement. Celles-ci, à leur tour,

---

1. Cette espèce de drainage qu'opère la forêt a pu aussi être constatée à certaines epoques, dans quelques stations bavaroises de météorologie forestière, par suite des variations de niveau des nappes d'eau souterraines. Souvent, en effet, toutes circonstances étant égales d'ailleurs, les nappes d'eau souterraines sont montées à un niveau si élevé, en rase campagne, que les thermomètres destinés à y prendre la température du sol étaient dans l'eau, tandis qu'ils étaient à sec en forêt. Dans les massifs d'épicéa, notamment, le niveau des eaux souterraines paraît demeurer fréquemment à une plus grande profondeur qu'en pleins champs. (*Note de l'auteur*.)

consomment plus d'eau que les feuilles des résineux qui sont encore moins bien partagées au point de vue des cendres et du pouvoir de transpirer. Le *gommier bleu* (*Eucalyptus globulus*), dont l'enracinement est si profond, se distingue par une transpiration particulièrement active et une grande consommation d'eau [1]. La structure anatomique des feuilles (le développement du parenchyme spongoïde par rapport à celui du tissu en palissade) a une grande influence sur l'aptitude à transpirer ; de même le nombre, la dimension et la conformation des stomates, ainsi que la constitution de l'épiderme. Des organes foliacés larges, minces, dépourvus de poils, qui sont riches en stomates et possèdent un épiderme tendre avec une cuticule peu développée, évaporent, les circonstances extérieures étant égales, beaucoup plus d'eau que les feuilles petites, épaisses et velues [2]. Les arbres qui ont des feuilles lisses et coriaces, qui possèdent un épiderme fortement cuticularisé avec un revêtement de cire, comme le *ficus elastica* (arbre à caoutchouc), le laurier commun, les cannelliers, les camphriers, évaporent très peu et sont en état de résister à des climats particulièrement secs [3]. Les feuilles gorgées d'eau abandonnent, dans un laps de temps donné, plus d'eau à l'atmosphère que des feuilles pauvres en eau. Si l'on expose à l'air des feuilles d'arbres fraîchement cueillies, on constate que les feuilles riches en eau (celles des frênes, des ormes, des érables, des saules, etc., etc.) se dessèchent, toutes circonstances égales d'ailleurs, beaucoup plus vite que les feuilles plus pauvres en eau, moins aptes à transpirer, des frênes, des hêtres, des bouleaux, etc., etc. Que

1. Hamm, *Der Fieber- oder Blaugummibaum*, Vienne, 1871. (*Note de l'auteur.*)

2. Les poils des feuilles constituent un moyen de protection contre un éclairement trop vif, contre une évaporation considérable et contre un rayonnement nocturne exagéré. La plupart des plantes qui poussent dans les steppes et les déserts, puis celles qui croissent dans la haute montagne, sur des places sèches et ensoleillées, possèdent, pour ce motif, un vêtement de poils laineux ou soyeux (*Edelweiss*), ou bien leur épiderme est hérissé de soies proprement dites. (*Note de l'auteur.*)

3. La couche mince et brillante de cire qui recouvre les pommes, les prunes et certains autres fruits et les aiguilles de beaucoup de conifères ; la couche plus épaisse qui recouvre les plantes des genres *Cactus*, *Sedum* et *Sempervivum*, diminuent considérablement l'évaporation. Le même effet est produit par la partie subéreuse de l'écorce des arbres, de la pelure des pommes de terre, etc. Des pommes et des pommes de terre pelées se dessèchent en un laps de temps très court. (*Note de l'auteur.*)

l'on plonge pendant quelque temps, dans l'eau, des feuilles détachées de végétaux feuillus, elles se dessécheront ensuite à l'air beaucoup plus rapidement que des feuilles qui n'auront pas été immergées, parce qu'elles auront absorbé de l'eau par imbibition et qu'elles transpireront dès lors plus activement qu'auparavant (Haberlandt). Pour le même motif, de l'herbe fauchée quand elle est couverte de rosée ou peu de temps après la pluie se fane plus vite que de l'herbe qu'on a coupée quand elle n'était pas mouillée. Ces phénomènes s'expliquent comme il suit : dans les feuilles riches en eau, sous l'effet de la pression hydrostatique, les cellules qui bordent les stomates s'ouvrent et provoquent la transpiration, tandis que ces mêmes cellules, dans les tissus plus pauvres en eau, plus lâches, se resserrent et rendent l'évaporation plus difficile (Schwendener). Des tissus végétaux mortifiés par la gelée, par exemple, (feuilles, pommes de terre, raves, etc.), transpirent plus et se dessèchent beaucoup plus vite que des organes vivants. Mais l'émission de vapeur d'eau (l'énergie transpiratoire) ne varie pas seulement avec l'essence ; elle varie également, pour une même essence, d'une façon notable, avec le degré de développement (âge) des feuilles, avec l'abondance du feuillage, avec l'étendue totale de la surface foliacée, avec l'importance de l'enracinement, avec les conditions climatériques et météorologiques, avec le degré d'éclairement et avec la constitution chimique et physique du sol. Lorsque la température s'élève, que l'air devient plus sec et plus agité, le soleil plus ardent, la terre plus humide, la transpiration augmente ; elle diminue dans le cas contraire. Dans un sol frais (argileux) et riche en principes nutritifs minéraux, le développement des radicelles auxquelles incombe le soin d'absorber l'eau est beaucoup plus considérable et plus complet que dans un sol sablonneux, pauvre en substances alimentaires. Aussi, quand une plante est bien nourrie, la transpiration est-elle plus énergique et plus abondante, la production de matières organiques, l'activité vitale, en un mot, est-elle plus grande, que lorsque le végétal a une alimentation défectueuse. Mais ce n'est pas seulement l'augmentation de la teneur d'un sol en eau et en principes nutritifs qui surexcite la transpiration ; c'est aussi l'échauffement de ce sol, parce qu'alors le fonctionnement des racines et la pression qu'elles exercent sur le milieu

ambiant sont également stimulés. Par des températures qui ne dépassent que de quelques degrés le zéro du thermomètre, et qu'on observe souvent au printemps ou à la fin de l'automne, les racines fonctionnent à peine, et à 0°, elles ne fonctionnent plus du tout. (Voir la théorie de l'auteur sur les causes de la maladie des jeunes plants de pins sylvestres dite *Schütte,* dans son livre intitulé : *Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden,* p. 251.) La transpiration des feuilles est complètement arrêtée ou, du moins, réduite à un minimum, quand l'air est saturé de vapeur d'eau ou qu'il y a un brouillard épais et persistant. La rosée et l'eau de pluie n'empêchent la transpiration qu'aussi longtemps que les feuilles en sont recouvertes. Une fois qu'elles ne sont plus mouillées, elles transpirent plus qu'auparavant, parce qu'elles ont absorbé une certaine quantité d'eau.

Mais ce fait que la forêt enlève jusqu'à un certain point l'eau du sol dans la région des racines, n'autorise nullement à conclure que *chaque* sol forestier doive être, dans ses parties profondes, plus sec qu'un terrain inculte, qu'un champ ou qu'une prairie. C'est seulement quand le sol des deux natures de propriétés mises en regard présente, jusqu'à 1 ou 2 mètres de profondeur, absolument la même constitution de part et d'autre, et qu'il ne reçoit pas, par en bas, de l'humidité provenant d'une nappe d'eau ou d'infiltrations latérales, c'est seulement alors que l'action desséchante de la forêt, notamment en été et à l'automne, peut être facilement constatée par des mensurations hydrotimétriques comparables. Mais si, comme c'est très souvent le cas dans la nature, les objets à comparer ont une constitution chimique et physique différente, ou si le sous-sol est très différent, il peut arriver que le sol forestier soit tantôt plus sec, tantôt plus humide que le terrain du champ, du pré ou de la friche limitrophe. Si, par exemple, le sol forestier est principalement formé de matériaux perméables (sable, gravier, éboulis, roches désagrégées, etc., etc.) et si le champ ou la friche repose sur des substances plus compactes (argile, limon, marne), le premier sera évidemment, en vertu de sa constitution même, plus sec que le second. Ou bien, si l'un des sols est constitué par une alternance des couches à gros grains (perméables) et à grains ténus (imperméables),

et que l'autre soit d'une constitution homogène, il y aura forcément de très grandes différences dans leur degré d'humidité. Les régions de haute et de moyenne montagne, où les conditions de sol changent si souvent, où la profondeur surtout est si variable, se prêtent le moins à ce genre de recherches ; au contraire, les dépôts diluviens et alluviens, dans les vallées des fleuves, les plaines et les dépressions y sont, en général, les plus propres. Mais, ici également, il faut, avant de commencer les observations hydrotimétriques, se livrer à une exploration minutieuse du terrain, à l'aide de la sonde ou au moyen de saignées, sous peine de voir le travail ultérieur demeurer sans résultats. Dans mes nombreuses recherches, je n'ai pu trouver qu'une quantité relativement petite d'emplacements utilisables[1]. Mais j'ai eu l'occasion de me convaincre de l'extrême diversité que présentent, au point de vue de leur approvisionnement en eau, les sols que l'on rencontre dans la nature. On constate des différences allant de 3 p. 100 (sable keuperien, dans le Reichswald de Nuremberg) à 88 p. 100 (sol marécageux près de Raubling, non loin de Rosenheim). Il est à remarquer que, même sur ce sol mouilleux, la forêt (peuplée d'un mélange de pins et d'épicéas) a eu pour effet une petite diminution de la teneur en eau, bien que de l'eau y fût constamment amenée d'en bas par capillarité.

Les exemples suivants montrent combien, dans des circonstances favorables, la couverture d'un sol forestier peut être riche en eau :

Le 17 août 1885, on trouva, après la pluie, dans le tapis de mousse d'un peuplement d'épicéa de 60 ans, près de Hintersee (Haute-Bavière), 72.33 p. 100 d'eau ; à la face inférieure de ce tapis, 76.64 p. 100; dans le terreau forestier sous-jacent, 71.57 p. 100.

---

1. Lors de ces voyages, j'avais toujours avec moi un nombre convenable de verres à évaporation, une étuve sèche (bain d'air), une lampe à alcool spéciale, à niveau constant, et une balance chimique très sensible, afin de pouvoir immédiatement entreprendre sur les lieux, dans ma chambre, les déterminations hydrotimétriques. Je ne cacherai point, que deux fois (à Hintersee, près de Ramsau, puis à Rückersdorf, près de Nuremberg), de grands incendies ont manqué éclater parce que de l'alcool enflammé avait, par hasard, découlé de la lampe. (*Note de l'auteur.*)

Le 22 août 1885, dans un autre peuplement d'épicéas,

	EAU. — P. 100.
le tapis de mousse renfermait	75.22
la partie inférieure de ce tapis.	70.69
le terreau sous la mousse.	69.02

Le 9 septembre 1885, la teneur en eau s'éleva, après un jour et demi de pluie,

	P. 100. —
dans un revêtement de mousse, à.	80.45
de la face inférieure dudit, à.	74.61
dans le terreau sous-jacent, à.	74.42

Le pouvoir d'absorber l'eau que les tapis de mousse possèdent à un si haut degré, apparaît ici très clairement. Mais ils ne cèdent de leur eau à la terre minérale que lorsqu'ils sont déjà saturés par des pluies abondantes et qu'ils continuent à recevoir de l'eau quand même. Aussi, peut-on souvent observer sur les sols secs, sablonneux, que les racines des arbres ne se développent guère que dans les couches supérieures, mélangées à du terreau, humides et riches en principes nutritifs et qu'elles ne descendent pas dans les parties profondes. Lorsque la couverture de mousse dépasse une certaine hauteur (environ 8 à 10 centimètres), elle retient trop d'eau et diminue l'humidité du sol sous-jacent.

Influence des cultures agricoles sur l'humidité du sol.

Ce ne sont pas seulement les arbres, mais aussi tous les autres végétaux à l'état vert qui provoquent, à un degré plus ou moins élevé, le desséchement du sol. On peut s'en convaincre facilement en remplissant de la même terre deux pots à fleurs vernis, non poreux, en utilisant l'un pour la culture d'une plante et en laissant l'autre sans végétation. Bien qu'on accorde à chacun la même quantité d'eau, on voit, au bout de peu de temps, que la terre est plus sèche dans le premier pot que dans le second.

De nombreuses recherches de Risler, Wilhelm, Breitenlohner,

Schumacker, Eser et Wollny ont établi qu'un terrain garni de plantes agricoles cultivées évapore également, pendant la saison de végétation, des quantités d'eau beaucoup plus considérables et se dessèche plus dans la région des racines, que ne le fait, à la même profondeur, une friche inculte de même constitution minéralogique. Risler et Wollny ont constaté, en outre, que les plantes cultivées (trèfle, luzerne, pois, herbes de prairies) épuisent le sol d'autant plus, en ce qui concerne son eau, qu'elles sont plus rapprochées les unes des autres et qu'elles se sont développées plus abondamment[1]. Comme les plantes fourragères, à savoir les diverses espèces de graminées et de trèfle, ont besoin, pour donner de belles récoltes au point de vue de la qualité et de la quantité, de pousser très dru, elles réclament de plus grandes quantités d'eau et dessèchent le sol plus que les autres plantes agricoles.

Sont-ce les plantes agricoles ou les arbres forestiers qui enlèvent le plus d'eau au sol ? C'est là une question d'une extrême importance au point de vue de l'hygiène et de l'alimentation des sources. J'ai déjà établi ci-dessus que le gazon demande plus d'eau et dessèche plus le sol, dans la région des racines, que les végétaux forestiers. Mais plusieurs autres faits encore montrent que les plantes agricoles dessèchent, plus que la forêt, les couches supérieures du sol. Cette circonstance que les feuilles des arbres sont d'un tissu plus ferme, plus coriace, et que leur cuticule est plus développée que ce n'est le cas chez les plantes agricoles, cette circonstance déjà rendait *à priori* vraisemblable l'hypothèse d'après laquelle les essences forestières donnent lieu à une moindre évaporation que les végétaux cultivés dans les champs. Depuis qu'on a démontré qu'il existe un certain rapport entre la transpiration des plantes d'une part et, d'autre part, la quantité d'eau et de sels minéraux dissous que ces plantes absorbent, on ne peut plus douter que les feuilles deviennent d'autant plus riches en eau et en cendres que la transpiration est plus active. Quand l'évaporation des feuilles est supprimée ou amoindrie, l'apport de sels minéraux provenant du sol n'est pas

---

1. Wollny, *Der Einfluss der Pflanzendecke und Beschattung auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens*, Berlin, 1877. (*Note de l'auteur.*)

suffisant pour permettre une alimentation convenable et une croissance normale des plantes. Plus elles perdent d'eau par transpiration pendant la période de végétation et plus, par conséquent, elles en prennent au sol, plus il y a de sels minéraux amenés jusque dans les feuilles. La teneur de celles-ci en cendres pures devra donc servir assez exactement de mesure pour juger de l'importance relative de la transpiration des plantes[1]. Or, la proportion moyenne de cendres qui se trouve dans la matière sèche provenant des légumineuses est de 16 à 18 p. 100 ; des feuilles de tabac et de houblon, environ 17 p. 100 ; des feuilles de raves, 13 à 16 p. 100 ; des pieds de pommes de terre, 8 à 9 p. 100 ; de la luzerne, 7.38 p. 100 ; du trèfle incarnat (en fleurs), 6.86 p. 100 ; du foin de prairies naturelles, 6.98 p. 100 ; des feuilles de chêne, 4.83 p. 100 ; des feuilles de hêtre, 3.64 p. 100 ; des aiguilles de sapin pectiné (d'une et de plusieurs années), 2.97 p. 100 ; des aiguilles de mélèze, 2.49 p. 100 ; des aiguilles d'épicéa, 2.38 p. 100 ; des aiguilles de pin sylvestre, 2.20 p. 100 ; des aiguilles de pin noir, 1.91 p. 100 ; des aiguilles de pin à crochets (chétif ou mugho), 1.96 p. 100 [2]. Ces nombres font clairement ressortir la faible transpiration des résineux en comparaison de celle des feuillus, ainsi que la plus faible évaporation des hêtres et des chênes par rapport à celle des diverses espèces de trèfle, des herbes des prairies naturelles et d'autres plantes agricoles. Mais jamais on ne peut conclure directement de l'importance relative de la transpiration des feuilles au besoin d'eau et à la propriété asséchante des arbres, car la consistance du feuillage et l'étendue totale de la surface foliacée exercent aussi une influence là-dessus. De deux arbres dont les feuilles possèdent le même pouvoir de transpiration, celui qui aura le feuillage le plus développé enlèvera plus d'eau au sol que celui qui aura la cime la moins fournie. Pour

1. Voir l'article de l'auteur intitulé : *Studien über das Wasserbedürfniss der Waldbaüme,* dans le Supplément de la *Forst- und Jagd-Zeitung,* t. XII, 2e fasc., 1884, p. 94. (*Note de l'auteur.*)

2. Ces moyennes concernant la teneur en cendres pures des feuilles des arbres forestiers sont déduites de très nombreuses recherches que nous avons entreprises dans ces dernières années, pour toutes les essences forestières d'Allemagne, en prenant nos échantillons dans les stations les plus variées. La publication de ce travail aura lieu prochainement. (*Note de l'auteur.*)

les feuilles de bouleau, par exemple, il est à noter que leur substance sèche est, en moyenne, un peu plus riche en cendres que celle des feuilles de hêtre ; mais à cause de la moindre densité de son feuillage, la première de ces deux essences réclame beaucoup moins d'eau pour son alimentation générale que le hêtre. Une relation analogue s'observe chez le robinier faux-acacia : il a des feuilles plus riches en cendres que le hêtre, mais, à cause de sa cime moins touffue, il peut se contenter de sols plus secs.

De même, chez les plantes agricoles, la consommation d'eau ne dépend pas seulement de l'activité de la transpiration ; elle tient aussi à l'amplitude du feuillage, au degré de rapprochement ou d'éloignement des sujets et à la durée de la végétation. Les trèfles et les herbes des prairies naturelles, par exemple, qui forment un tapis très serré, consomment plus d'eau et dessèchent plus le sol que les pieds de pommes de terre, lesquels sont beaucoup plus espacés. La plus grande consommation d'eau a lieu chez toutes les plantes à l'époque de la plus grande production de principes organiques, chez nous en juillet et en août ; elle est, dès lors, sensiblement plus forte dans le milieu des phases de végétation qu'à la fin de l'évolution de la plante.

Des recherches directes, exécutées par M. Risler en 1870 et 1871, établissent également que l'évaporation des végétaux forestiers est plus faible que celle des végétaux agricoles[1]. Il a constaté que l'évaporation moyenne par heure et par décimètre carré de surface foliacée correspond aux nombres suivants : pour la luzerne, $0^{gr},46$ d'eau ; le chou, $0^{gr},25$; le gazon, $0^{gr},21$; le froment, $0^{gr},17$; l'avoine, $0^{gr},14$; par contre, pour le chêne, seulement $0^{gr},6$; le sapin, $0^{gr},5$. Exprimée en millimètres, l'évaporation journalière moyenne a été, d'après M. Risler : pour la luzerne, de $3^{mm},4$ à $7^{mm},0$; les prairies naturelles, de $3^{mm},1$ à $7^{mm},3$; le blé, de $2^{mm},7$ à $2^{mm},8$; le seigle de $2^{mm},26$; la pomme de terre, de $0^{mm},74$ à $1^{mm},4$; le chêne de $0^{mm},5$ à $1^{mm},1$; le sapin, de $0^{mm},5$ à $1,^{mm}0$. M. Risler a aussi reconnu qu'un hectare de forêt évapore plus d'eau qu'un champ nu et inculte de même surface,

1. Biedermann, *Zentralblatt für Agrikulturchemie,* 1872, p. 160. (*Note de l'auteur.*)

mais (environ 3 fois) moins qu'un hectare de terrain garni de plantes fourragères (luzerne, trèfle, graminées).

D'après M. Th. Hartig[1], il s'évapore, en 24 heures, à égalité de circonstances, par chaque mètre carré :

	EAU.
D'une nappe d'eau à l'air libre.	2 000 grammes.
D'un sol *mouilleux,* non planté	2 600 —
D'un terrain couvert d'une avoine semée dru . . .	9 000 —

A côté de cela, il s'évapore par chaque mètre carré de surface foliacée :

	GRAMMES.
De hêtre.	210
De chêne.	280
D'épicéa	200

Le même savant a calculé, d'après des recherches minutieuses, l'évaporation qui se produit pendant 6 mois (180 jours de végétation) sur un quart d'hectare garni d'un peuplement forestier de 1,000 tiges ; il l'a évaluée à :

102^{mm},8	de hauteur d'eau,	en moyenne.
135 ,4	—	pour des feuillus purs.
51 ,4	—	pour des résineux purs[2].

Toutes les recherches dont il vient d'être rendu compte concourent à démontrer que les plantes agricoles, notamment l'herbe, les diverses espèces de trèfle et les autres plantes vivaces évaporent de plus grandes quantités d'eau que les végétaux forestiers ; mais que ceux-ci, avec leurs racines plus longues, peuvent dépouiller le sol de son eau à de plus grandes profondeurs. Bien que les arbres de nos forêts réclament moins d'eau que les plantes agricoles, leurs besoins, sous ce rapport, sont cependant si considérables que, dans beaucoup de régions de notre globe, les forêts ne peuvent pas exister à cause d'une trop grande sécheresse. On le conçoit aisément lorsqu'on songe que les arbres, non seulement emmagasinent beau-

1. *Allg. Forst- und Jagd-Zeitung,* 1878, p. 3. (*Note de l'auteur.*)
2. *Botanische Zeitung,* 1861, p. 20. (*Note de l'auteur.*)

coup d'eau dans leur corps ligneux[1], mais encore émettent, en *un seul* jour, par leurs feuilles, pendant la période de végétation, un poids d'eau 2 à 4 fois plus grand que leur propre poids supposé déterminé après dessiccation à l'air libre. Les feuilles des résineux toujours verts évaporent même chaque jour un poids d'eau presque égal à la moitié de leur propre poids (von Hœhnel). D'après les expériences de Hœhnel sur la transpiration, un frêne crû à l'état isolé consommait en moyenne chaque jour, d'avril à octobre inclusivement, un poids d'eau quatre fois plus grand que le poids de toutes ses feuilles desséchées à l'air libre. 100 grammes de feuilles de frêne évaporaient pendant ce même laps de temps plus de $85^{kg},5$ (litres) d'eau, soit donc 400 grammes par jour. Un grand *bouleau* isolé, à feuillage très fourni, évaporait, en 6 mois, 7,086 kilogr. d'eau, ou 38 litres par jour ; un *hêtre* de 115 ans perdait par la transpiration, de juin à novembre, 8,968 kilogr., soit environ 50 litres par jour ; chez un hêtre de 50 à 60 ans, on a observé pendant la saison de végétation une perte d'eau de 1,793 kilogrammes ou d'environ 10 litres par jour. La quantité totale d'eau qu'un peuplement de hêtre de 115 ans dégage sous forme de vapeur pendant la période de végétation s'élève, en moyenne, à 4 millions de kilogrammes ou 40,000 hectolitres[2]. Qu'on suppose cette masse d'eau répandue sur une surface d'un hectare et elle formera une couche de 400 millimètres d'épaisseur. Comme, d'un autre côté, en Allemagne, il tombe, en moyenne, tous les ans, 700 millimètres d'eau (dans l'Allemagne du Sud, plus de 800 millimètres), les précipitations atmosphériques annuelles atteignent près du double de ce que consomme une forêt de hêtre et de ce qu'elle retire au sol.

Ces chiffres relatifs aux quantités d'eau évaporées sont simplement destinés à donner une idée générale des exigences des arbres forestiers, au point de vue de l'humidité du sol et à faire connaître en

---

1. Un *épicéa* de 86 ans, vigoureusement développé, renferme, par exemple, ainsi qu'il résulte de mes recherches sur le bois et les feuilles, environ 1 000 kilogr. (litres) d'eau. Un *sapin pectiné* du même âge et de la même station (*Frankenwald*) en renferme 1 200 litres. (*Note de l'auteur.*)

2. *Mittheilungen aus dem forstl. Versuchswesen Œsterreichs,* 2e vol., 1er et 3e fasc. (*Note de l'auteur.*)

gros leur action asséchante : néanmoins, on peut en conclure que nos forêts feuillues sont privées de leurs conditions d'existence dans toutes les contrées où la quantité d'eau tombée par année moyenne est inférieure à 400 millimètres et où le sol reste trop sec pendant la période de végétation.

En ce qui concerne la richesse d'une contrée en sources, on peut conclure des recherches dont il été rendu compte ci-dessus que, comparée à un terrain nu, non cultivé, la forêt diminue l'alimentation des sources, mais qu'elle y contribue cependant plus que les prairies, les pâturages, les champs de trèfle, etc., etc. La forêt en soi ne peut, d'après ce qui vient d'être dit, donner naissance à des sources, mais elle a une influence beaucoup plus grande que les cultures agricoles sur la conservation des sources existantes. De même, des déboisements exécutés sur une vaste étendue de pays doivent amener un tarissement plus rapide de certaines sources, parce que le sol se recouvre de lui-même, en peu de temps, d'herbes et de plantes analogues qui consomment plus d'eau que la forêt et en laissent moins s'infiltrer. De nombreux faits d'expérience, observés dans les contrées les plus variées, confirment à tous les points de vue les conclusions que nous venons de tirer.

(Traduit de l'allemand par E. REUSS.)

ANNEXE I

I. — Série de recherches exécutées dans la maîtrise forestière royale de Bruck.

Teneur en eau (exprimée en centièmes du poids) d'une terre limoneuse très forte (*Schwerer-Lehmboden*).

Moyennes tirées d'observations ayant eu lieu 4 à 5 fois par mois.

	JEUNE peuplement d'épicéas (25 ans). — Profondeur en centimètres.		PEUPLEMENT d'épicéas d'âge moyen (60 ans). — Profondeur en centimètres.		PEUPLEMENT d'épicéas exploitables (120 ans). — Profondeur en centimètres.		SOL non planté, en rase campagne. — Profondeur en centimètres.	
	à 40.	à 80.	à 40.	à 80.	à 40.	à 80.	à 40.	à 80.
ANNÉE 1884								
Juillet	14,84	16,27	15,09	17,32	19,07	21,00	20,86	20,87
Août	16,52	17,26	14,53	17,59	17,20	20,27	19,55	20,44
Septembre	14,74	16,26	12,54	17,17	15,00	19,23	19,97	21,11
Octobre	16,39	17,71	13,41	16,32	15,09	19,42	20,05	19,55
Novembre	18,59	18,75	14,53	16,07	14,56	19,73	20,09	19,96
Moyennes	16,21	17,25	14,02	16,89	16,18	19,93	20,10	20,38
	16,73		15,45		18,05		20,24	
ANNÉE 1885								
Janvier	19,98	17,78	20,03	19,02	19,49	22,70	19,41	28,97
Février	20,48	16,23	16,09	16,50	20,02	22,18	20,52	20,50
Mars	20,30	18,07	17,01	16,88	18,75	21,76	20,77	20,29
Avril	18,05	17,75	15,02	17,16	16,03	20,83	21,05	20,00
Mai	17,50	18,24	13,83	14,72	17,62	19,92	20,17	21,24
Juin	13,95	16,93	13,64	16,17	17,07	21,45	19,50	18,64
Moyennes	16,50	17,64	14,22	16,02	16,90	20,73	20,24	19,96
	17,07		15,12		18,81		20,10	
Moyennes générales déduites des deux années.	16,35	17,41	14,12	16,45	16,54	20,33	20,17	20,17
	16,89		15,28		18,43		20,17	
GROUPEMENT PAR SAISONS								
Hiver (janvier et février)	20,23	17,00	18,06	17,76	19,75	22,44	19,96	24,73
	18,61		17,91		21,09		22,35	
Printemps (mars à mai)	18,62	18,02	15,29	16,28	17,47	20,83	20,66	20,51
	18,32		15,78		19,15		20,58	
Été (juin à août)	15,10	16,82	14,42	17,03	17,78	20,90	19,97	19,98
	15,96		15,72		19,34		19,97	
Automne (sept. à nov.)	16,57	17,57	13,49	16,52	14,88	19,46	20,04	20,20
	17,07		15,00		17,17		20,12	

ANNEXE II

II. — Série de recherches exécutées dans la maîtrise forestière royale de Bruck.

TABLEAU A

Teneur en eau (exprimée en centièmes du poids) d'une terre limoneuse très forte. Moyennes tirées d'observations ayant eu lieu 4 à 5 fois par mois.

	JEUNE PEUPLEMENT D'ÉPICÉAS (25 ans). — Profondeur en centimètres.					PEUPLEMENT D'ÉPICÉAS d'âge moyen (60 ans). — Profondeur en centimètres.					PEUPLEMENT D'ÉPICÉAS exploitables (120 ans). — Profondeur en centimètres.					SOL DÉPOURVU de végétation, en rase campagne. — Profondeur en centimètres.				
	0 à 5	15 à 20.	30 à 35.	45 à 50.	75 à 80.	0 à 5.	15 à 20.	30 à 35.	45 à 50.	75 à 80.	0 à 5.	15 à 20.	30 à 35.	45 à 50.	75 à 80.	0 à 5.	15 à 20.	30 à 35.	45 à 50.	75 à 80.
ANNÉE 1885																				
Juillet	18,44	17,09	17,45	16,14	18,28	19,98	18,48	15,97	15,92	80,02	34,82	19,45	18,43	19,74	22,05	16,21	19,77	19,78	19,74	19,89
Août	13,49	10,61	11,92	14,07	16,04	14,33	11,45	11,59	12,69	16,20	25,95	14,22	14,63	18,51	20,30	10,87	16,86	17,96	19,19	17,87
Septembre	19,35	15,25	15,69	16,43	16,82	16,63	11,66	12,36	13,91	17,29	29,09	15,50	15,63	17,81	19,64	21,48	19,55	19,15	18,89	19,61
Octobre	23,10	19,99	19,59	18,53	17,25	20,75	16,65	15,90	15,80	17,41	36,94	19,78	19,50	20,00	21,29	22,67	21,95	19,96	19,42	22,95
Novembre	29,71	22,36	20,82	19,63	18,15	26,57	20,75	17,61	17,71	19,46	34,01	20,56	19,04	20,22	21,60	22,80	21,20	21,36	21,12	21,15
Décembre	30,60	20,50	21,21	19,17	18,94	30,78	21,13	18,94	18,86	19,69	48,23	22,50	19,56	22,17	20,65	27,49	22,02	21,73	21,54	21,75
Moyennes	22,45	17,63	17,18	17,33	17,58	21,50	16,52	15,40	15,81	18,01	34,84	18,67	17,79	19,74	20,92	20,25	20,23	19,99	19,98	20,54
ANNÉE 1886																				
Janvier	37,11	20,24	21,06	20,67	18,41	28,83	21,45	17,92	17,96	17,60	43,77	20,78	19,64	21,65	22,42	24,62	21,70	21,83	19,89	19,34
Février	11,84	20,88	20,41	19,94	18,50	32,90	19,07	16,54	16,58	17,14	37,81	19,93	18,79	19,57	21,24	24,06	20,41	22,72	19,91	19,76
Mars	45,56	22,62	21,21	18,05	19,93	48,44	26,68	14,06	14,71	17,50	36,30	17,97	16,93	19,72	21,32	30,59	22,44	21,90	20,58	22,44
Avril	33,17	22,32	21,49	20,58	17,90	48,43	22,66	17,82	17,25	18,56	54,20	19,55	19,62	22,20	21,16	24,70	21,36	20,25	20,76	20,38
Mai	»	18,24	18,68	18,29	17,42	29,60	17,84	15,97	17,06	17,97	49,19	19,21	18,59	19,41	20,37	21,44	19,67	20,33	19,92	19,57
Juin	»	20,24	19,74	19,32	17,35	36,59	21,10	18,18	16,77	17,99	52,76	22,14	19,08	21,03	21,32	21,13	20,52	19,56	20,75	21,73
Moyennes pour 1886	39,42	20,76	20,43	19,47	18,25	37,46	21,47	16,75	16,72	17,75	45,81	19,93	18,78	20,59	21,30	24,42	21,02	21,09	20,30	20,54
Moyennes pour 1885	22,45	17,63	17,78	17,33	17,58	21,50	16,52	15,40	15,81	18,01	34,84	18,67	17,79	19,74	20,92	20,25	20,23	19,99	19,98	20,54
Moyennes générales	30,93	19,19	19,10	18,40	17,91	29,48	18,99	16,07	16,26	17,88	40,32	19,30	18,28	20,16	21,11	22,33	20,62	20,54	20,14	20,54
		18,65					17,30					19,71					20,46			

TABLEAU B

Groupement par saisons.

	JEUNE PEUPLEMENT D'ÉPICÉAS (25 ans). — Profondeur en centimètres.					PEUPLEMENT D'ÉPICÉAS d'âge moyen (60 ans). — Profondeur en centimètres.					PEUPLEMENT D'ÉPICÉAS exploitables (120 ans). — Profondeur en centimètres.					SOL DÉPOURVU de végétation, en rase campagne. — Profondeur en centimètres.				
	0 à 5.	15 à 20.	30 à 35.	45 à 50.	75 à 80.	0 à 5.	15 à 20.	30 à 35.	45 à 50.	75 à 80.	0 à 5.	15 à 20.	30 à 35.	45 à 50.	75 à 80.	0 à 5.	15 à 20.	30 à 35.	45 à 50.	75 à 80.
Automne. Septembre à novembre 1885. . .	24,05	19,20	18,70	18,19	17,74	21,32	16,35	15,30	15,80	18,05	33,34	18,61	18,06	19,34	20,84	22,32	20,90	20,16	19,81	21,24
			18,46					16,37					19,21					20,53		
Hiver. Décembre à février 1886	36,52	20,54	20,89	19,92	18,62	30,83	20,55	17,80	17,80	18,14	43,28	21,07	19,33	21,13	21,44	25,36	21,38	22,09	20,45	20,28
			19,99					18,57					20,74					21,05		
Printemps. Mars à mai 1886	39,36	21,06	20,46	18,97	18,42	42,16	22,39	15,95	16,34	18,01	46,56	18,91	18,38	20,45	20,95	25,58	21,16	20,82	20,42	20,79
			19,73					18,17					19,67					20,80		
	15,96	15,98	16,38	16,51	17,22	23,63	17,01	15,25	15,12	17,40	37,84	18,60	17,38	19,76	21,22	16,07	19,05	19,10	19,89	19,83
			16,52					16,19					19,24					19,47		

ANNEXE III.

III. — Série de recherches exécutées dans le jardin de la Station royale d'expériences forestières à Munich.

TABLEAU A.

Influence de diverses couvertures du sol sur la teneur en eau d'une terre de jardin potager riche en humus.
Moyennes (exprimées en centièmes du poids) tirées d'observations ayant eu lieu 3 à 4 fois par mois.

1886.	PLANTS DE HÊTRE (6 ans). — Profondeur en centimètres.			PLANTS D'ÉPICÉA (6 ans). — Profondeur en centimètres.			TAPIS de mousse. — Profondeur en centimètres.			COUCHE DE GAZON (pré). — Profondeur en centimètres.			TERRAIN dépourvu de végétation (champ nu). — Profondeur en centimètres.		
	5 à 10.	40.	80.	5 à 10.	40.	80.	5 à 10.	40.	80.	5 à 10.	40.	80.	5 à 10.	40.	80.
Avril	34,97	34,53	36,47	36,94	36,48	38,88	36,00	36,20	38,42	34,38	32,36	36,96	35,22	37,33	34,50
Mai	33,11	35,54	35,17	35,47	36,54	37,38	35,71	35,86	37,13	34,28	33,86	37,14	36,52	36,74	34,81
Juin	33,84	35,69	37,27	35,86	36,66	36,87	36,65	36,88	39,06	33,94	35,54	26,61	33,36	36,48	37,94
Juillet	26,86	32,31	33,42	27,32	31,86	33,15	35,52	35,43	35,78	24,25	26,86	31,88	26,46	33,78	35,28
Août	31,48	33,13	33,30	29,02	32,44	34,49	37,10	35,77	36,13	24,71	32,57	33,48	33,70	35,14	36,46
Septembre	27,56	30,58	31,53	25,84	28,48	29,89	37,27	34,30	35,47	21,10	29,26	30,71	27,65	34,34	35,84
Octobre	28,89	28,13	29,60	29,02	28,65	29,30	37,00	35,25	36,82	28,19	31,43	31,55	26,40	36,44	36,45
Novembre	29,61	33,76	33,97	31,69	31,75	33,93	47,59	36,44	37,08	29,74	34,80	32,26	30,90	35,28	36,45
Décembre	33,02	33,92	35,66	31,47	34,73	35,30	37,48	34,92	37,51	22,17	32,85	34,72	30,55	36,12	37,82
Moyennes	31,04	33,06	33,97	31,40	33,06	34,35	37,81	35,55	37,04	28,08	32,17	33,92	31,19	35,74	36,17
		33,51			33,70			36,29			33,04			35,95	
GROUPEMENT PAR SAISONS.															
Printemps (avril à juin)	33,97	35,28	36,30	36,09	36,23	37,71	36,12	36,15	38,20	34,20	33,92	36,90	35,03	36,82	35,75
		35,18			36,67			36,82			35,00			35,86	
Été (juillet à septembre)	28,63	32,01	32,75	27,39	30,92	32,71	36,63	35,16	35,79	25,02	29,56	32,02	29,27	34,52	35,87
		31,13			30,01			35,81			28,87			33,22	
Automne (octobre à décembre)	30,50	31,93	32,88	30,73	31,71	32,84	40,69	35,53	37,13	26,70	33,02	32,84	29,28	35,94	36,90
		31,77			31,76			37,78			30,85			34,04	
Moyennes générales		32,69			32,81			36,82			31,57			34,37	

TABLEAU B.

Influence de diverses couvertures sur les quantités d'eau infiltrées dans une terre potagère riche en humus.

MOIS.	QUANTITÉS d'eau tombées exprimées en millimètres de hauteur.	QUANTITÉS D'EAU INFILTRÉES, exprimées en millimètres de hauteur.				OBSERVATIONS.
		Hêtres (6 ans).	Épicéas (6 ans).	Tapis de mousse.	Terrain nu, dépourvu de végétation.	
1886.						
Janvier	38,80	4,25	3,39	5,04	4,44	Du 26 janvier au 30 mars le sol a été gelé et couvert de neige.
Février	10,60	1,10	1,10	2,51	0,03	
Mars	47,30	4,62	2,52	2,92	0,33	
Avril	63,50	6,02	6,64	12,24	9,90	
Mai	46,18	2,01	1,36	1,80	0,70	
Juin	239,12	8,42	6,30	16,92	12,24	
Juillet	117,40	3,40	3,12	7,43	6,27	
Août	203,70	4,07	2,67	7,25	7,62	
Septembre	45,05	0,88	0,76	2,78	1,28	En septembre, octobre et novembre, l'eau d'infiltration a fait presque complètement défaut dans les sols plantés de hêtres et d'épicéas.
Octobre	25,80	»	»	0,99	0,03	
Novembre	43,60	0,24	»	3,40	1,96	
Décembre	76,90	4,38	1,48	3,85	4,61	
Total	957,95	39,39	29,35	67,13	49,41	
1887.						
Janvier	6,15	2,95	0,70	1,81	1,22	Le terrain dépourvu de végétation a été gelé du 19 janvier au 24 mars; les *hêtres* n'ont pas donné d'eau d'infiltration du 21 février au 12 mars; les *épicéas* du 24 janvier au 23 mars.
Février	5,10	0,81	»	0,53	0,06	
Mars	84,20	2,28	1,77	3,91	1,71	
Avril	19,20	3,87	1,13	3,99	4,30	
Mai	114,80	4,46	2,15	6,50	3,96	
Juin	55,00	2,50	1,49	4,62	2,94	Les hêtres et les épicéas n'ont point donné d'eau d'infiltration du 23 juin au 11 septembre; il en a été de même pour le terrain nu, du 30 juin au 21 août.
Juillet	78,20	»	»	3,68	»	
Août	77,40	»	»	4,70	0,97	
Septembre	59,00	0,19	0,14	3,11	2,41	
Octobre	53,80	0,10	0,22	2,59	1,16	
Novembre	81,30	1,61	2,30	4,43	3,82	En décembre 1887 sont survenues quelques irrégularités qui nous ont fait renoncer à publier les résultats concernant ce mois.
Total	634,15	18,77	9,90	39,87	22,55	
GROUPEMENT PAR SAISONS.						
1886.						
Mars à mai. (*Printemps*)	156,98	12,65	10,52	16,96	10,93	
Juin à août (*Été*)	560,22	15,89	12,09	31,60	26,13	
Septembre à novembre (*Automne*)	114,45	1,12	0,76	7,17	3,27	
Décembre à février (*Hiver*)	126,30	9,73	5,98	11,40	9,08	
1887.						
Mars à mai (*Printemps*)	219,20	10,61	5,05	14,40	9,97	
Juin à août (*Été*)	210,60	2,50	1,49	13,00	3,91	
Septembre à novembre (*Automne*)	194,10	1,90	2,66	10,13	7,39	

TABLEAU C.

Relation entre les quantités d'eau infiltrées et les quantités tombées
(exprimée en centièmes des quantités tombées).

100 millimètres d'eau tombée ont donné, en fait d'eau infiltrée :

	HÊTRES.	ÉPICÉAS.	MOUSSE.	CHAMP NU.
1886.	Millim.	Millim.	Millim.	Millim.
Printemps.	8,0	6,7	10,8	6,9
Été.	2,8	2,1	5,6	4,6
Automne	0,9	0,6	6,2	2,8
Hiver.	7,7	4,7	11,4	7,1
1887.				
Printemps.	4,8	2,3	6,5	4,5
Été.	0,11	0,07	6,1	1,8
Automne	0,9	1,4	5,2	3,7

RECHERCHE

ET

DOSAGE DE L'AMIDON

Par A. LECLERC

DIRECTEUR DU LABORATOIRE DE LA COMPAGNIE GÉNÉRALE DES VOITURES A PARIS.

L'analyse des matières alimentaires pour les animaux est généralement faite d'après la méthode de Weende qui englobe sous le nom de matières non azotées des corps fort différents non seulement au point de vue physique et chimique, mais surtout au point de vue de leurs aptitudes nutritives. Dans ses recherches sur l'alimentation du cheval, M. Müntz a déjà signalé le fait et tenté d'y remédier en dosant l'amidon proprement dit à l'aide de la diastase[1]. C'était un grand progrès puisqu'on différenciait alors des corps dont le pouvoir digestif est dans le rapport de 1 à 2. Mais ce procédé, où intervient la saccharification par l'acide de l'amidon solubilisé par la diastase, a l'inconvénient de donner des acides conjugués, de sorte qu'en l'appliquant aux substances pauvres en amidon, telles, par exemple, que les fèces du cheval ou les pailles, on ne retrouve plus d'amidon dans celles-ci[2]. Cependant ces substances en contiennent *toujours*. Seulement pour mettre l'amidon en évidence et le doser, il est nécessaire de recourir à un mode opératoire différent. Cette note a pour but de faire connaître ce mode opératoire.

---

1. Voir *Annales de l'Institut agronomique*, n° 2, 1877-1878, p. 59.
2. *Id.*, p. 63 et 73.

1° Recherche de l'amidon.

La recherche de l'amidon dans les substances qui en contiennent une notable proportion ne présente aucune difficulté quand on emploie la méthode classique ; mais il n'en est plus de même si l'on a affaire à des substances pauvres en amidon ou qui passent pour n'en pas contenir (exemple les pailles de blé, d'avoine, les fèces du cheval[1]). Supposons donc qu'il s'agisse de rechercher l'amidon dans la paille de blé. Pour être certain que l'amidon ne peut avoir une origine étrangère, je commence par ne prendre que les entre-nœuds (les nœuds étant rugueux pourraient retenir des poussières d'amidon venant des grains concassés au battage), je les lave complètement sous un courant d'eau énergique en les triturant, après quoi ils sont desséchés et coupés menus. J'évite de les passer au moulin pour qu'ils ne puissent se souiller en route de quelques parcelles d'amidon qui se retrouveraient plus tard. Je prends environ 5 grammes de cette paille desséchée que je mets dans un flacon de 200 cent. cubes avec 180 cent. cubes d'une solution de chlorure de zinc neutre de 1,430 au moins de densité. J'indiquerai plus loin comment il faut préparer cette solution.

Le flacon est mis à chauffer 1 heure au bain d'eau salée à 108°. Après ce temps l'amidon est dissous. On filtre la liqueur qui a dissous l'amidon ; elle est plus ou moins colorée ; peu lorsqu'il s'agit de paille, mais de couleur brun très foncé s'il s'agit de fèces.

Si l'on ajoutait de la teinture d'iode dans une semblable liqueur, dans la plupart des cas on ne pourrait affirmer la présence ou l'absence de l'amidon.

La coloration gêne ou masque la réaction de la teinture d'iode et il est nécessaire de décolorer avant de faire agir celle-ci. Pour cela bien des moyens peuvent être employés ; mais celui qui m'a donné satisfaction au point de vue de la sensibilité et de l'économie de temps est le suivant :

Je prends 20 cent. cubes environ de la solution zincique à décolo-

---

1. Voir *Annales de l'Institut agronomique,* n° 5, 1879-1880, p. 198 et suiv.

rer, j'y ajoute environ 1/2 à 1 cent. cube d'acide chlorhydrique, puis quelques cristaux de permanganate de potasse ou de sa solution concentrée jusqu'à ce que le mélange en contienne un léger excès ; on laisse agir une ou deux minutes, puis on ajoute de nouveau du permanganate, si la liqueur est revenue à peu près à sa coloration primitive. Lorsqu'après quelques minutes la solution reste colorée par un léger excès de caméléon, j'ajoute goutte à goutte jusqu'à complète décoloration une solution très étendue d'hyposulfite de soude. A ce moment, on a une liqueur entièrement incolore, on y ajoute quelques gouttes de teinture d'iode qui doit à peine teinter la liqueur. La coloration bleue de l'iodure d'amidon n'apparaît pas encore en raison du léger excès d'hyposulfite de soude. J'enlève cet excès en ajoutant goutte à goutte une solution très étendue d'eau de brome. Lorsque celle-ci est en proportion suffisante toute la liqueur se teinte en bleu d'iodure d'amidon qu'un excès du réactif fait disparaître. Dans ce cas, une ou deux gouttes d'hyposulfite font réapparaître l'iodure bleu. Pour bien réussir la réaction, surtout lorsqu'il n'y a que des traces d'amidon en dissolution, il faut que les solutions des réactifs soient très étendues et n'opérer que goutte à goutte.

Lorsque la liqueur d'amidon est bien décolorée, la réaction prend alors une extrême sensibilité. Si l'on veut caractériser ce bleu par la chaleur (le faire disparaître), il est nécessaire de remplacer dans la décoloration l'acide chlorhydrique par l'acide acétique, l'acide chlorhydrique transformant rapidement l'amidon soluble en glucose.

Enfin si l'amidon est en quantité tellement faible que la coloration de la liqueur laisse un doute dans l'esprit, on peut lever ce doute en produisant la réaction sous forme d'un anneau bleu de la façon suivante :

La liqueur, décolorée et contenant un léger excès d'hyposulfite de soude, comme il a été dit ci-dessus, est mise dans un verre à expérience. Comme elle est très dense, à l'aide d'une pipette on fait couler le long de la paroi de l'eau de brome qui surnage. Au point de contact des deux solutions, on voit se former une zone d'un bleu d'autant plus foncé que l'amidon est plus abondant.

2° Dosage de l'amidon.

Le chlorure de zinc concentré dissout très bien l'amidon, ce qui permet la séparation de ce dernier des autres principes immédiats. En effet, à l'exception des sucres qui s'y dissolvent, la cellulose et la graisse y sont insolubles si le chlorure est neutre, et les matières azotées s'y dissolvent en proportion négligeable. Avec ce réactif on a donc la possibilité de séparer, d'isoler l'amidon d'un fourrage. Il restait à trouver le moyen de doser l'amidon dissous dans le chlorure de zinc.

A priori il semblait qu'on n'avait que l'embarras du choix du procédé, à savoir :

1° Par le polarimètre :

a) Soit en opérant directement sur la solution zincique d'amidon ;

b) Soit après transformation préalable de l'amidon en glucose par un acide ;

2° Par précipitation directe de l'amidon.

Voyons les avantages et les inconvénients de ces procédés.

1° Dosage par le polarimètre.

a) L'emploi du polarimètre ne peut être conseillé que pour les grains, tels qu'avoine, maïs, etc., et lorsqu'on n'exige pas le dosage de l'amidon à plus de 1 p. 100 près. Comme le pouvoir rotatoire de l'amidon n'est pas constant, il est nécessaire de faire une double opération.

On traite un même poids des grains à analyser et d'amidon pur et sec (l'amidon doit provenir d'un grain semblable à celui sur lequel on opère) par la même quantité du même chlorure de zinc, dans le même bain-marie et pendant le même temps. On étend la solution à un volume connu, puis on lit chaque solution au polarimètre. On peut admettre que l'amidon des deux échantillons ayant été traité de la même manière a conservé le même pouvoir rotatoire. Une simple proportion permet alors de trouver la quantité d'amidon pur et sec

contenu dans la graine. Il ne faut pas oublier de tenir compte de la déviation afférente au sucre contenu dans le grain. Mais l'approximation du résultat n'est environ que de 1 p. 100. Ce procédé ne peut être recommandé que pour les essais industriels des maïs, par exemple, employés pour la fabrication de l'amidon du glucose, ou de l'alcool.

L'amidon étant un corps complexe dont les éléments en proportion variable ont chacun un pouvoir rotatoire spécial, on ne peut compter sur la constance de la rotation. D'un autre côté, l'action du chlorure de zinc sur l'amidon détermine la formation d'une proportion faible mais variable de dextrine qui modifie le pouvoir rotatoire.

Ce procédé qui paraît être très expéditif ne l'est pas en réalité. En effet, les solutions de chlorure de zinc chargées d'amidon sont toujours opalescentes et il est extrêmement rare de pouvoir faire une lecture polarimétrique après la première filtration. Il est nécessaire de les filtrer plusieurs fois de suite. Cela est long. L'opalescence s'atténue, mais elle ne disparaît pas en totalité. Je n'ai pu me rendre compte de la cause de cette opalescence.

b) Si l'on veut doser l'amidon à moins de 1 p. 100 près, on traite la dissolution zincique d'amidon par 1/10 d'acide chlorhydrique à 108° pendant une demi-heure. Mais avec ce système on retombe sur les inconvénients signalés au début de cette note, c'est-à-dire, la destruction partielle du glucose par l'acide. Dans ce cas, l'opalescence a entièrement disparu et les solutions sont très limpides, ce qui rend la lecture facile. Il faut aussi tenir compte de la rotation due aux sucres dissous en même temps que l'amidon.

2° *Dosage par précipitation directe de l'amidon.*

La précipitation de l'amidon s'effectue par l'alcool concentré dans lequel les sucres et le chlorure de zinc restent dissous. Il est vrai que lorsqu'on ajoute de l'alcool à une solution neutre de chlorure de zinc, celle-ci précipite des flocons blancs probablement d'oxychlorure basique ; j'empêche la formation de ce précipité par l'addition d'un peu d'acide acétique ou mieux d'acide chlorhydrique.

Voici la succession des opérations nécessitées par le dosage :

Peser 2 grammes de la matière pulvérisée s'il s'agit de grains, et 5 grammes s'il s'agit de pailles, foins, fèces, etc. Les mettre dans un flacon de 200 cent. cubes ; y ajouter 10 cent. cubes d'eau distillée et agiter de façon à bien humecter la matière et à la répartir en couche sur la paroi du flacon. L'humectation préalable est indispensable ; si l'on versait directement le chlorure de zinc sur la matière, celle-ci résisterait à l'attaque dans nombre de ses parties ; il se formerait des sortes de rognons au centre desquels le chlorure ne saurait pénétrer. Lorsque cela arrive, il vaut mieux recommencer l'opération que de perdre son temps à vouloir faire dissoudre le tout, on n'y parviendrait qu'en décuplant le temps de chauffe.

Lorsque l'humectation est obtenue, on verse sur la matière 180 cent. cubes d'une solution de chlorure neutre de zinc de 1,450 de densité. Agiter, puis mettre au bain de sel à 108° pendant une heure, à une heure et demie. On surveille de temps en temps comment la matière se comporte et on arrête le chauffage pour les graines, lorsqu'on voit que les débris de celles-ci ont été solubilisés. Pour les pailles il est bon de chauffer au moins une heure et demie. Après le chauffage, laisser refroidir les flacons et en verser le contenu dans un vase jaugé de 250 cent. cubes, laver le flacon avec la même solution de chlorure de zinc de façon à amener le volume total à 250 cent. cubes. L'erreur de volume qu'apportent les membranes celluleuses du grain est entièrement négligeable. Pour les fourrages fibreux, on amène à 253 cent. cubes pour tenir compte du volume de la matière non dissoute. Après avoir bien agité, le liquide est jeté sur un filtre. La filtration est très lente et le liquide opalescent.

On prélève un volume connu, soit 25 cent. cubes par exemple, de cette dissolution zincique d'amidon qu'on met dans un vase à précipiter de 150 cent. cubes ; on y ajoute 2 cent. cubes d'acide chlorhydrique pour empêcher la précipitation de l'oxychlorure, puis 3 fois son volume ou 75 cent. cubes d'alcool à 90° G.-L. ou deux fois et demie d'alcool à 95° G.-L. La précipitation pour les grains est instantanée, mais le précipité se dépose lentement. Pour les pailles, la précipitation exige au moins douze heures : cela est très variable et dé-

pend naturellement de la quantité d'amidon dissoute dans la liqueur. Il est bon de bien laisser déposer le précipité et de ne le filtrer sur filtre taré que 24 heures après la précipitation. L'alcool a précipité la totalité de la dextrine et de l'amidon, les sucres seuls restent dissous. Il importe peu que le chlorure de zinc détermine la formation partielle de dextrine, puisque celle-ci a la même composition que l'amidon et qu'elle est précipitée comme et avec lui.

Le dépôt formé est relativement dense ; on peut décanter presque tout le liquide surnageant avant de le jeter sur le filtre ; il est même préférable de faire le lavage du précipité dans le vase même.

Si l'on veut opérer plus rapidement on peut faire la précipitation à chaud, mais dans ce cas il faut diminuer la proportion d'acide chlorhydrique et le dosage perd en exactitude, car il y a toujours de l'amidon qui, quoi qu'on fasse, reste attaché aux parois du vase où la précipitation a été effectuée.

Le lavage doit se faire avec de l'alcool acidulé par l'acide chlorhydrique : 5 cent. cubes d'acide chlorhydrique pour 1,000 cent. cubes d'alcool à 90° (l'alcool à 90° acide suffisent, même si la précipitation a été faite avec de l'alcool à 95°) jusqu'à enlèvement complet du chlorure de zinc. Lorsque ce résultat est obtenu, on élimine l'alcool acide qui mouille le filtre par quelques lavages à l'alcool neutre à 90° ; puis on dessèche et on pèse. L'amidon a généralement entraîné un peu de matières minérales qu'on retranche après avoir pris leur poids après incinération.

25 cent. cubes de la solution zincique donnent environ 140 milligr. de précipité contenant environ 5 milligr. de matières minérales dans les dosages pour le maïs et environ 27 milligr. de précipité contenant environ 2 milligr. de matières minérales s'il s'agit de pailles de blé ou d'avoine.

Les précipités qui proviennent des grains renferment généralement une petite quantité de matières azotées. On peut en tenir compte en faisant un dosage d'azote. J'ai observé que le poids de ces matières azotées est sensiblement constant pour un même poids de précipité venant d'une même espèce de grain. Ainsi pour le maïs, 150 milligr. de précipité contiennent de $1^{mgr},5$ à 2 milligr. de matières azotées. Pour l'avoine la proportion est un peu plus forte et pour

les pailles elle devient négligeable ; elle n'atteint pas dans la plupart des cas un demi-milligramme.

Si l'on opère exactement suivant la marche susindiquée, surtout si l'on prend bien les proportions du précipitant par rapport au volume de la solution zincique sur laquelle on opère, on précipite sûrement la totalité de l'amidon et de la dextrine qui y sont contenus. J'ai dit que la formation d'une faible quantité de dextrine n'a pas d'inconvénient, puisqu'elle a même composition que l'amidon et que sa solution vis-à-vis de l'alcool se comporte exactement comme celle d'amidon.

J'acidule l'alcool par de l'acide chlorhydrique, parce qu'il lave plus complètement le précipité que l'acide acétique.

Voici les résultats qu'on obtient en appliquant le procédé à de l'amidon purifié.

2 grammes d'amidon dosant 0,80 p. 100 de matières minérales et 14,25 p. 100 d'eau sont traités par 100 cent. cubes de Zn Cl à 108° pendant une heure et demie et étendus à 200 cent. cubes.

20 cent. cubes de la solution, additionnés de 2 cent. cubes d'acide chlorhydrique et de 70 cent. cubes d'alcool à 90° ont donné :

1er précipité :	172 milligr.	— 2 milligr.	matières minérales	=	170 milligr.	d'amidon.
2e	181	— 9	—	=	172	—

Ce deuxième précipité avait été moins bien lavé que le premier.

Les 20 cent. cubes renfermaient 169mgr,9 d'amidon et on a retrouvé en moyenne 171 milligr. d'amidon.

La différence entre les deux dosages provient de ce que le précipité retient de l'oxychlorure malgré un lavage prolongé. Or, dans l'incinération, le charbon du filtre réduit l'oxychlorure et donne du zinc qui se volatilise partiellement, ce qui donne un poids trop faible de matières minérales. J'ai essayé d'empêcher cette volatilisation en faisant passer le zinc à l'état de sulfure, mais je dois dire que le résultat n'a pas été entièrement satisfaisant. Il est donc indispensable de laver à fond le précipité, sinon on obtient un chiffre d'amidon un peu trop fort.

Si, lorsqu'on on a des solutions très colorées, par exemple comme celles qu'on obtient dans le traitement des fèces, on ajoute à ces

solutions un poids connu d'amidon, on peut, par cette méthode, retrouver la totalité de l'amidon ajouté. Ainsi 17 milligr. d'amidon ont été ajoutés à 20 cent. cubes du liquide noir provenant du traitement de 5 grammes de fèces de cheval. On ajoute 2 cent. cubes d'acide chlorhydrique et 70 cent. cubes d'alcool à 90° G.-L. ; on obtient un précipité donnant :

Un poids de 30 milligr. — 5 milligr. de matières minérales. =	25	milligr. d'amidon.
Les fèces en contenaient, d'après dosage spécial	9	—
On a donc retrouvé.	16	—
sur les 17 milligr. ajoutés.		

Il reste maintenant à indiquer la préparation de la dissolution de chlorure de zinc.

Je fais dissoudre un excès de zinc dans l'acide chlorhydrique du commerce. Lorsque l'attaque est terminée, la solution étant colorée, j'y ajoute une solution concentrée de caméléon jusqu'à décoloration complète.

Je décante le liquide limpide et incolore dans une capsule en porcelaine et je le porte à l'ébullition. A ce moment j'ajoute par petites portions de l'oxyde de zinc tant que le liquide peut en dissoudre. On laisse refroidir, on filtre, et la solution est prête à servir ; elle a une densité de 1,430 à 1,450 environ.

LE
MANÈGE DYNAMOMÉTRIQUE
DE E. WOLFF

Par A. LECLERC

DIRECTEUR DU LABORATOIRE DE RECHERCHES DE LA COMPAGNIE GÉNÉRALE DES VOITURES.

Dans nos essais d'alimentation[1] nous avons employé le manège dynamométrique de E. Wolff pour mesurer le travail fait par les chevaux. Notre choix s'était arrêté à cet appareil parce qu'il était depuis longtemps employé en Allemagne, et que les publications scientifiques de ce pays lui attribuaient une grande perfection dans ses évaluations du travail mécanique. Rien *à priori* ne pouvait faire mettre en doute l'exactitude des résultats dynamométriques obtenus par M. Wolff avec son manège.

M. E. Wolff dit bien qu'en réalité, durant une rotation entière du manège, le frottement n'est pas rigoureusement identique, et qu'avec lui varie, dans des limites très étroites, l'effort de traction du cheval. Cependant il admet que le travail kilogrammétrique est constant pour chaque tour, puisqu'il obtient le travail total effectué, en multipliant le travail d'un tour par le nombre de tours faits par le manège.

Procéder ainsi, on le verra plus loin, c'est souvent commettre une erreur plus grande que la mesure qu'on doit effectuer. Lors même que l'effort de traction par tour serait constant, le manège de M. E. Wolff ne donne pas la totalité du travail extérieur produit par

1. L. Grandeau et Leclerc, *Recherches expérimentales sur l'alimentation du cheval de trait*. In-4°, Berger-Levrault et Cie, 1883-1884.

le cheval. En effet, le travail que le cheval développe en donnant un coup de collier est toujours supérieur à celui qui est nécessaire pour mettre le manège en mouvement : il peut se décomposer en deux efforts simultanés et superposés, savoir :

1° Effort nécessaire pour faire tourner le manège ;

2° Effort tendant à soulever le piston *c*.

Ce dernier effort, qui n'est pas mesuré, est souvent supérieur au premier. Cependant il représente un travail que le cheval a effectivement produit ; il n'a pas été mesuré dans les expériences allemandes, et il ne pouvait l'être avec un manège tel que celui que M. E. Wolff a décrit et employé.

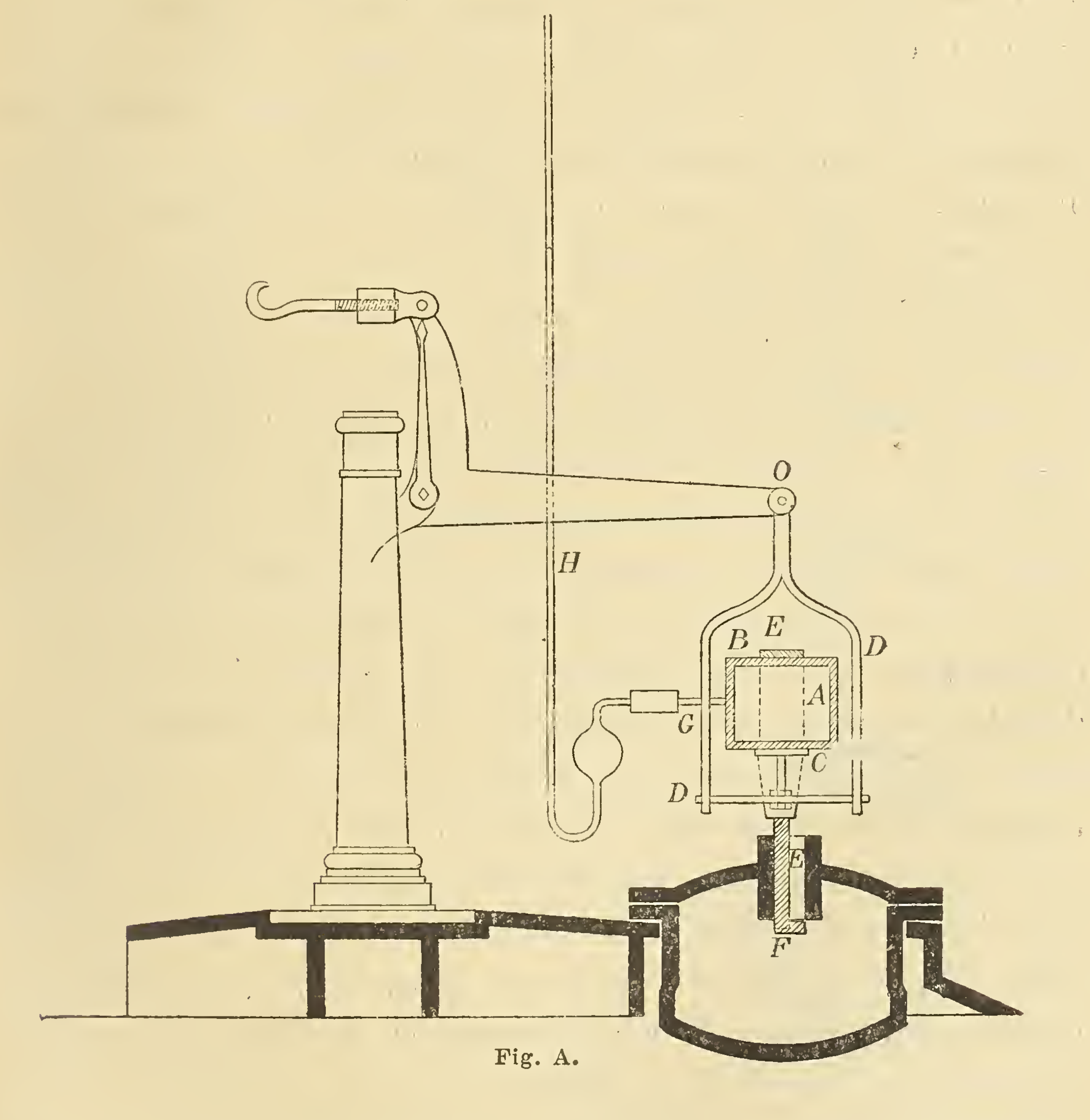


Fig. A.

Si l'on veut se rendre compte expérimentalement sur le manège lui-même de la grandeur de cet effort dont il n'est pas tenu compte, il est nécessaire de remplacer le piston par un dynamomètre ou par

l'appareil suivant (fig. A), si l'on ne veut qu'un essai sommaire. Il est formé d'un récipient cylindrique A en fer, d'environ $0^m,10$ de diamètre et de $0^m,05$ à $0^m,08$ de hauteur ; cette dernière importe peu. La paroi circulaire ainsi que l'un des fonds sont très résistants et ne peuvent se déformer sous une pression de 3 à 4 m. de mercure. L'autre fond C est élastique et formé par une feuille d'acier ou de cuivre. Ce fond C porte en son centre et perpendiculairement à son plan une tige qui le relie à un étrier DD articulé en O à l'extrémité du levier coudé du manège. Il recevra donc tous les efforts du cheval. Le fond B est fixé invariablement sur un étrier E, dont le plan est perpendiculaire à celui du premier. Cet étrier EEF est invariablement fixé par le crochet F au chapeau du manège. Un tube G, soudé dans la paroi du cylindre, met le récipient en relation avec un manomètre à mercure libre H. Le récipient A étant exactement rempli d'eau ainsi que l'extrémité coudée du manomètre, il est clair que les efforts du cheval se traduiront par une élévation proportionnelle du mercure dans le tube manométrique. On peut de cette manière suivre les oscillations de la traction et remarquer qu'elles varient considérablement avec la vitesse du cheval à une même allure, soit au pas, soit au trot. Il est bien entendu que les surfaces frottantes du manège n'ont été ni modifiées ni surchargées durant les essais comparatifs. Cette épreuve expérimentale suffit pour montrer l'inexactitude des résultats fournis par le manège tel qu'il a été employé par M. Wolff.

Si, comme M. E. Wolff le pensait, les écarts dans les efforts étaient très faibles et tout à fait négligeables, les oscillations du mercure dans le tube manométrique seraient excessivement faibles et à peine appréciables, car il ne faut pas oublier que la surface élastique du récipient étant de $0^{dm^2},78$, la variation de 1 centimètre dans la colonne mercurielle correspond à une variation d'environ 2 kilogr. dans l'effort de traction. Or l'observation a montré des oscillations allant jusqu'à 10 centimètres. Donc l'effort de traction était susceptible de varier jusqu'à 20 kilogr. C'était là la confirmation expérimentale de la fausseté des résultats fournis par le manège.

Mais ce dispositif expérimental ne permettait ni de mesurer ni d'obtenir la traction moyenne d'un essai. Il eût fallu en faire un instrument enregistreur et de nombreuses difficultés s'opposaient à

la réalisation d'un tel système. Pour obtenir la traction moyenne dans un essai, il est nécessaire d'employer un enregistreur analogue

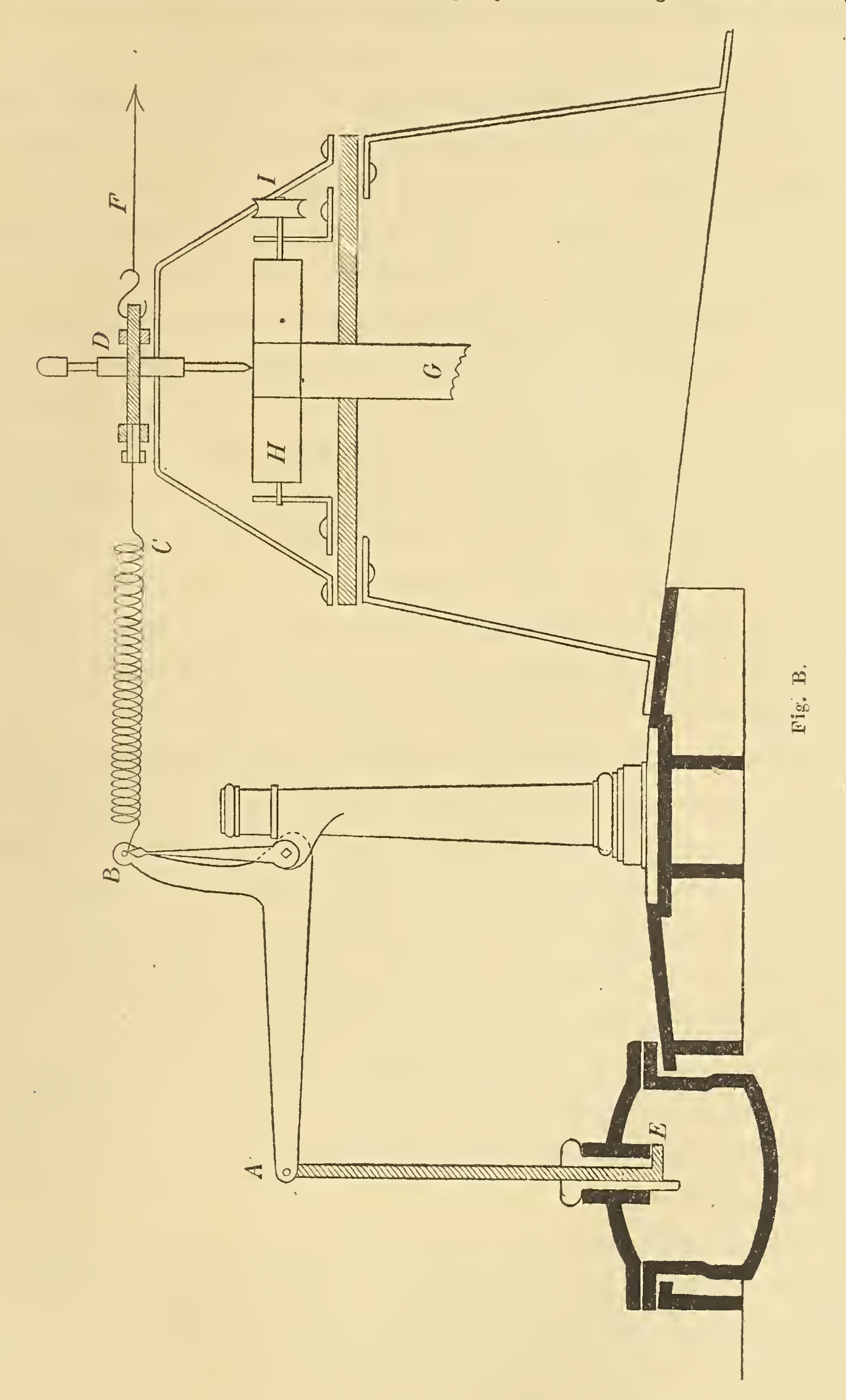


Fig. B.

à celui du général Morin ; la figure B en donne la coupe schématique.

L'extrémité A du levier coudé est fixée invariablement au chapeau en E. Un ressort à boudin dont on connaît la force est articulé à l'autre extrémité B du levier. L'extrémité C du ressort est mise en rotation avec un porte-crayon D qui peut se mouvoir le long d'une glissière qui n'est pas figurée, et la tige de fer F met, d'autre part, ce crayon en rapport avec l'extrémité du levier coudé du palonnier. Le crayon se déplace sous l'effort du cheval et prend une position qui dépend de l'intensité de cet effort. Le crayon repose par sa pointe sur une bande de papier G, qui porte un rouleau H et qui se déroule avec une vitesse proportionnelle à la vitesse du cheval. On obtient ce mouvement à l'aide d'une courroie qui relie, d'une part, la partie fixe du manège à la poulie fixée à l'extrémité inférieure d'un axe intermédiaire adapté sur la flèche mobile ; d'autre part, une seconde courroie relie la poulie supérieure de l'axe intermédiaire à la poulie I du rouleau porte-papier. Si on dispose d'une façon fixe un second crayon marquant à tout instant la position qu'aurait le crayon D si le ressort était au repos, c'est-à-dire au zéro, on aura les éléments indispensables et suffisants pour mesurer à tout instant désiré l'effort et le travail produits.

Si le cheval est au repos et si on fait dérouler la bande de papier, les deux crayons tracent deux lignes droites qui se superposent, se confondent en une seule, c'est l'axe des x. Si le cheval travaille, l'effort de traction est représenté à chaque instant par la grandeur de l'ordonnée correspondant à chaque point de la ligne sinueuse que décrit le crayon mobile. On peut donc connaître à tout instant la valeur de cet effort et par suite déterminer l'effort moyen.

En même temps, par un dispositif qui n'est point reproduit sur la figure, mais que chacun peut arranger à sa façon, la révolution complète du manège et le temps s'inscrivaient électriquement sur la même bande de papier.

On obtenait ainsi une courbe, dont la figure C ci-contre donne un spécimen. Les traits AA exprimant le temps, ils étaient inscrits toutes les deux secondes par le crayon fixe traçant l'axe des x. Les traits B marquaient les révolutions complètes du manège. Comme on voit, ces deux tours successifs ont été effectués dans des temps inégaux : l'un en 8″ 64/100, l'autre en 11″ 80/100. Le cheval avait donc mo-

Fig. C.

difié sa vitesse. En relevant ces courbes au planimètre d'Amsler, on trouve que la traction moyenne a été de 19^{kg},708 pour le tour qui a duré 8″ 64/100 et 24^{kg},444 pour celui qui a duré 11″ 80/100. Le manège n'avait pas été modifié pendant ces tours, ni sous le rapport de l'étendue des surfaces frottantes, ni sous le rapport des surcharges.

Des centaines de déterminations ont été faites avec le manège ainsi modifié ; elles ont fourni les résultats les plus disparates, mais qui montrent d'une façon irréfutable l'inexactitude des résultats fournis par le manège allemand.

Pour montrer les écarts dont le manège est susceptible, j'indiquerai seulement, condensés sous forme de tableau, les résultats qui ont été obtenus avec le dispositif précédent dans 265 tours successifs où la vitesse du cheval a été très variable, 1 tour de manège égal à 28^{m},96. Les fractions de seconde sont exprimées en centièmes.

NUMÉROS d'ordre.	DURÉE d'un tour.	ORDONNÉE moyenne.		NUMÉROS d'ordre.	DURÉE d'un tour.	ORDONNÉE moyenne.
		Milligr.				Milligr.
1	12″	33,52	Démarrage.	41	12″ 66	30,19
2	12 40	37,16		42	12 46	24,03
3	13 60	31,29		43	12 24	25 52
4	12 40	25,66		44	12 86	26 79
5	12 50	29,85		45	12 38	23 32
6	11 90	25,02		46	12 72	25 86
7	11 94	22,24		47	13 60	26 40
8	11 26	24,02		48	12 72	22 89
9	11 36	21,65		49	11 78	29 95
10	12 04	23,94		50	13 34	25 28
11	11 34	24,42		51	13 66	24 34
12	9 82	21,47		52	14 04	26 34
13	10 26	21,73		53	13 42	24 36
14	10 78	24,61	Vitesse $= 2^m,68$.	54	12 83	26 50
15	10 34	24,58	Vitesse $= 2^m,80$.	55	13 74	24 66
16	10 46	24,57		56	12 60	25 02
17	10 80	22,48	Vitesse $= 2^m,68$.	57	10 16	24 03
18	12 00	26,60		58	13 30	25 14
19	10 06	31,41		59	13 22	24 09
20	10 30	27,43		60	13 72	24 30
21	10 34	25,41	Vitesse $= 2^m,80$.	61	12 94	24 34
22	10 36	20,66	Vitesse $= 2^m,80$.	62	14 46	22 77
23	10 34	23,24	Vitesse $= 2^m,80$.	63	15 06	24 19
24	9 86	21,81		64	13 54	23 30
25	10 03	22,52		65	14 40	26 21
26	10 34	23,59		66	13 32	27 36
27	10 86	21,53		67	12 14	19 61
28	10 82	23,50		68	12 74	30 24
29	10 82	23,67		69	14 20	29 57
30	10 76	22,84		70	13 58	30 57
31	10 50	19,89	Vitesse $= 2^m,75$.	71	14 32	25 20
32	10 94	20,87		72	15 64	23 70
33	11 20	19,33		73	14 06	24 65
34	11 16	20,48		74	14 30	24 55
35	11 26	20,95		75	15 64	24 90
36	9 98	20,00		76	15 66	26 47
37	10 40	20,62		77	14 00	23 46
38	11 00	22,25		78	13 60	30 34
39	12 38	26,06		79	13 70	29 23
40	12 26	25,07		80	13 04	31 62

NUMÉROS d'ordre.	DURÉE d'un tour.	ORDONNÉE moyenne.	
		Milligr.	
81	13″48	31,57	
82	14 18	30,90	
83	15 36	24,71	
84	15 08	23,70	
85	14 92	24,25	
86	15 70	23,46	
87	15 50	23,29	
88	15 14	23,20	
89	14 66	23,71	
90	15 78	23,82	
91	12 92	22,64	
92	14 60	24,23	
93	14 48	23,05	
94	12 32	23,39	
95	14 16	23,48	
96	13 84	24,09	
97	13 00	22,55	
98	12 75	20,29	
99	11 80	24,46	
100	8 64	19,70	
101	9 2	20,24	
102	9 64	21,48	
103	10 36	28,61	Vitesse = 2^m,80.
104	9 36	26,63	
105	8 94	20,33	
106	9 38	27,18	
107	8 46	26,24	
108	8 90	27,83	
109	9 56	22 73	
110	9 24	24,46	
111	9 94	23,78	
112	10 24	23,41	
113	10 62	27,27	Vitesse = 2^m,75.
114	9 94	20,53	
115	10 54	23,56	
116	11 34	22,21	Vitesse = 2^m,75.
117	10 12	22,16	
118	10 52	22,21	
119	9 74	19,71	
120	10 20	21,18	
121	9″42	18,74	Effort minimum.
122	10 06	21,56	
123	10 98	22,03	
124	9 64	19,65	
125	9 06	19,70	
126	9 14	26,08	
127	9 64	27,17	
128	9 56	26,44	
129	8 98	25,22	
130	9 20	25,04	
131	9 14	23,44	
132	9 30	25,24	
133	9 18	25,74	
134	10 24	27,96	
135	10 26	26,37	
136	10 12	26,35	
137	10 10	27,48	
138	10 16	26,41	
139	10 86	26,70	Vitesse = 2^m,66.
140	10 48	31,17	
141	10 68	30,29	
142	10 40	28,49	Vitesse = 2^m,73.
143	10 00	28,54	
144	10 60	27,94	
145	10 12	27,98	
146	10 16	26,41	
147	10 64	25,06	Vitesse = 2^m,72.
148	10 86	29,03	
149	11 66	25,60	
150	19 44	34,51	
151	20 30	32,06	
152	18 80	30,39	
153	18 90	26,60	
154	20 20	29,35	
155	19 06	27,91	
156	20 74	28,37	
157	18 50	24,64	
158	20 60	24,07	
159	18 60	26,14	
160	12 32	26,99	

NUMÉROS d'ordre.	DURÉE d'un tour.	ORDONNÉE moyenne.		NUMÉROS d'ordre.	DURÉE d'un tour.	ORDONNÉE moyenne.	
		Milligr.				Milligr.	
161	12" 58	24,80		201	13" 34	26,76	
162	13 48	26,05		202	13 06	27,45	
163	12 62	23,27		203	13 90	26,60	
164	13 00	27,12		204	13 68	25 76	
165	13 56	26,66		205	16 60	27 09	
166	13 88	29,31		206	13 28	26,60	
167	14 12	28,97		207	14 68	26,17	
168	16 24	28,86		208	13 08	26,80	
169	13 90	25,00		209	12 24	25,88	
170	14 98	24,48		210	13 36	25,63	
171	13 98	26,60		211	12 28	25,02	
172	13 26	25,58		212	12 32	25,64	
173	15 14	25,98		213	11 98	24,77	
174	14 48	25,97		214	11 36	24,63	
175	14 84	25,25		215	10 92	24,80	
176	14 54	24,78		216	11 74	26,89	
177	15 00	24,52		217	12 04	26,17	
178	13 86	26,49		218	12 80	25,66	
179	15 98	25,53		219	12 24	27,73	
180	14 50	23,73		220	13 40	25,98	
181	14 10	26,16		221	12 60	25,36	
182	13 32	25,61		222	12 52	23,62	
183	12 98	24,90		223	12 44	24,07	
184	13 74	26,30		224	11 58	26,36	
185	13 30	23,62		225	8 60	4,27	
186	13 76	24,53		226	8 86	26,66	
187	14 66	23,88		227	8 66	27,26	
188	14 80	26,05		228	9 32	23,13	
189	13 50	24,35		229	9 54	21,21	
190	22 50	24,34		230	8 82	21,80	
191	16 00	25,02		231	8 64	19,80	
192	»	28,92		232	9 00	21,08	
193	»	37,56		233	11 12	21,87	
194	»	30,75		234	9 88	23,44	
195	»	29,71		235	10 60	26,34	Vitesse = 2^m,73.
196	»	26,00		236	9 60	24,30	
197	»	25,69		237	10 80	26,40	Vitesse = 2^m,68.
198	»	26,99		238	11 00	28,84	
199	13 44	28,98		239	10 80	28,22	Vitesse = 2^m,68.
200	13 00	26,50		240	8 80	26,42	

NUMÉROS d'ordre.	DURÉE d'un tour.	ORDONNÉE moyenne.		NUMÉROS d'ordre.	DURÉE d'un tour.	ORDONNÉE moyenne.
		Milligr.				Milligr.
241	9" 60	25,63		254	12" 00	29 76
242	9 90	26,71		255	12 00	28 64
243	9 01	24,68		256	12 10	28 49
244	9 84	26,53		257	»	27 70
245	11 00	26,66		258	»	27 46
246	»	26,60		259	»	27 92
247	»	26,40		260	»	27 39
248	10 86	25,97	Vitesse $= 2^m,66$.	261	»	29 01
249	10 98	27,25		262	»	28 36
250	11 08	26,47		263	12 60	27 04
251	11 14	27,03		264	12 90	25 57
252	11 12	30,62		265	12 76	27 16
253	10 88	27,03				

L'essai a été arrêté parce que le crayon inscrivant le temps ne marquait plus suffisamment.

On voit que les efforts moyens d'un tour de manège ont varié depuis $18^{kg},74$ (n° 121) jusqu'à $37^{kg},56$ (n° 193), c'est-à-dire exactement dans le rapport de 1 à 2.

Et ces efforts moyens d'un tour ne sont même pas constants pour une même vitesse, car nous trouvons les efforts suivants : $22^{kg},21$-$19^{kg},89$ pour une même vitesse de $2^m,75$; — $22^{kg},48$-$24^{kg},61$-$26^{kg},40$-$28^{kg},22$ pour une même vitesse de $2^m,68$; — $20^{kg},66$,-$23^{kg},24$, $24^{kg},58$-$25^{kg},41$, etc., pour une même vitesse de $2^m,80$;

Et parmi tous ces efforts moyens par tour quel est celui qu'il convient d'adopter pour calculer le travail produit réellement par le cheval ?

Pour connaître exactement ce travail, il serait nécessaire de planimétrer toutes les courbes obtenues dans chaque exercice. Or cela exigerait un travail colossal, puisqu'il faudrait relever chaque jour environ 700 tours de manège, soit une courbe d'environ 60 mètres de longueur.

J'ai tourné la difficulté en employant un dynamomètre totalisateur

fondé comme le planimètre sur les propriétés de la roulette. En voici la description :

Un disque circulaire AA en cuivre de 10 centimètres de diamètre est fixé à l'extrémité d'un axe vertical d'acier BB. Cet axe porte une poulie CC qui, à l'aide d'un axe intermédiaire fixé sur la flèche du manège, reçoit et transmet au disque un mouvement de rotation proportionnel à la vitesse du cheval. La face supérieure du disque est recouverte d'une lame de gutta-percha faisant corps avec lui.

Une roulette EE dont le plan est perpendiculaire à celui du disque en occupe le centre au repos ; elle peut se déplacer suivant un diamètre en glissant sur l'axe d'acier FG. Une pression convenable de la roulette sur le disque est obtenue à l'aide de la vis D. Son glissement suivant l'axe FG est produit au moment de la traction du cheval par un chariot LL portant un système de galets KK, chargés de faire avancer ou reculer la roulette EE, en un mot, de lui faire suivre toutes les oscillations du palonnier. L'axe FG porte un coulisseau I, pour recevoir la goupille J qui fait corps avec la roulette. Cette goupille a donc pour effet de transmettre à l'axe FG, le mouvement de la roulette J. L'axe FG porte en G une vis sans fin qui engrène avec une roue dentée M, laquelle communique le mouvement à une série de pignons NN′ N″ N‴ de 10 dents et de roues M′ M″ M‴ M⁗ de 100 dents. L'axe qui porte un pignon et la roue correspondante est muni d'une aiguille OO′ O″ O‴ O⁗ qui parcourt un cadran portant les divisions 0, 1, 2....7, 8, 9.

De ce dispositif, il résulte que lorsque la roulette fait un tour, l'aiguille O avance d'une division. Le nombre des tours de la roulette est donc donné très exactement par les aiguilles O, O′, O″, O‴, O⁗. Le chariot porte-roulette est calé sur deux tiges PP en acier poli et en relation d'un côté avec le palonnier au moyen d'une pièce QQ et d'un crochet R, et de l'autre côté par une pièce semblable QQ et une tige droite rigide et inextensible avec une extrémité d'un dynamomètre à lames d'acier. L'autre extrémité du dynamomètre est reliée invariablement à la plus courte branche du levier coudé, qui lui-même est maintenu immobile par une tige de fer fixée au chapeau du manège.

L'effort du cheval a donc pour effet de déplacer la roulette du

centre du disque d'une distance de ce centre qui est proportionnelle à cet effort, et comme le disque lui-même tourne avec une vitesse proportionnelle à la vitesse du cheval, il est clair que la roulette tournera proportionnellement au produit de l'effort par la vitesse, c'est-à-dire, en définitive, proportionnelle au travail produit.

Il suffira donc, pour avoir le travail effectué par le cheval, de connaître le nombre qui est fourni par la différence des lectures sur les cadrans, avant et après le travail, et de multiplier ce nombre par la valeur kilogrammétrique de la roulette, c'est-à-dire par le nombre de kilogrammètres auquel un tour de roulette correspond.

La valeur kilogrammétrique de la roulette s'obtient par un tarage qui s'effectue de la façon suivante :

On exerce sur le dynamomètre un effort connu, soit, pour fixer les idées, de 50 kilogr. par exemple. On cale alors les lames d'acier de façon à ce que leur position ne puisse se modifier. La roulette s'est déplacée d'une distance du centre qui est proportionnelle à 50 kilogr. On supprime la communication qui est entre le palonnier et le chariot porte-roulette et on fait faire au cheval 100 tours de manège ou un nombre quelconque.

Un premier essai pour 100 tours de manège a donné 3,349 tours de roulette ; un deuxième essai, opéré dans les mêmes conditions, a donné également le même nombre, soit 3,349 tours.

Comme le cheval modifie constamment sa piste en s'éloignant ou en se rapprochant du centre, il est nécessaire de prendre comme repère un point du système qui a, dans chaque tour, décrit exactement la même longueur de piste, soit, par exemple, l'axe de suspension du palonnier.

Cet axe a parcouru pour les 100 tours :

$$27^{\mathrm{m}},3947 \times 100 = 2\,739^{\mathrm{m}},47.$$

Le travail kilogrammétrique était donc de :

$$50 \times 2\,739^{\mathrm{m}},47 = 136\,973^{\mathrm{kgrm}},5.$$

Donc, un tour de roulette correspond à :

$$\frac{136\,983,5}{3\,349} = 40^{\mathrm{kgrm}},89972.$$

Voici donc un appareil donnant exactement le travail total fait par le cheval, soit que l'effort ait été constant, soit qu'il ait varié entre des limites quelconques. L'erreur dans la lecture des nombres de tours de roulette ne pouvant s'élever au maximum qu'à une demi-unité, on voit que l'erreur maximum dont cet appareil est susceptible dans la mesure du travail journalier est inférieure à $\frac{40^{\text{kgrm}},8992}{2}$ $= 20^{\text{kgrm}},4496$.

Or, c'est une erreur tout à fait négligeable vis-à-vis des 400 000 ou 500 000 kilogrammètres produits chaque jour. On peut encore abaisser cette erreur à 2 kilogrammètres seulement, si l'on apprécie en dixièmes la position intermédiaire de l'aiguille sur le cadran des unités. Cela est très possible avec mon appareil, puisque l'arc correspondant à une unité du premier cadran a environ 12 millimètres de longueur.

Afin de montrer que cet appareil est indispensable pour mesurer exactement le travail produit au manège, je donnerai ci-dessous les résultats qu'il a fournis du 12 au 31 décembre 1888, par exemple. Le cheval faisait 350 tours le matin et autant le soir, au pas.

DATE.	DURÉE DU TRAVAIL.		NOMBRE DES TOURS de la roulette.	
	Matin.	Soir.	Matin.	Soir.
	Min.	Min.		
12 décembre 1888	122	130	6089	3256
13 —	124	125	4960	3983
14 —	123	125	4266	6783
15 —	121	122	1552	3689
16 —	110	120	3738	3747
17 —	116	128	4058	3789
18 —	122	115	5437	5211
19 —	124	128	5098	5372
20 —	124	128	5018	5128
21 —	122	123	5382	6756
22 —	128	124	5306	5209
23 —	122	124	5375	5111
24 —	132	130	4665	4959
25 —	125	122	4697	4570
26 —	127	124	4496	4433
27 —	130	135	4631	4517
28 —	134	135	4470	4490
29 —	134	131	4402	4294
30 —	123	121	4383	4436
31 —	126	125	4329	4286

De ces nombres il résulte que

1° Le travail moyen a été :

Le matin de.	$40,89982 \times 4\,617,6 = 188\,859$	kgrm.
Le soir de	$40,89982 \times 4\,900,95 = 192\,268$	—

2° Le travail du matin a varié de :

Minimum	$40,89982 \times 1562 = 63\,476$
Maximum.	$40,89982 \times 6089 = 249\,039$

3° Le travail du soir a varié de :

Minimum	$40,89982 \times 3\,256 = 133\,169$	kgrm.
Maximum	$40,89982 \times 6\,783 = 277\,423$	—

Il est donc acquis que le manège de M. E. Wolff, tel qu'il est encore employé en Allemagne, donne des résultats erronés. Les nombres qu'il a fournis en Allemagne et ceux que nous avons obtenus à la Compagnie générale des voitures à Paris avec M. L. Grandeau, jusqu'en 1887, sont inexacts ; ils ne peuvent servir à déterminer l'équivalence mécanique des fourrages.

BIBLIOGRAPHIE

Liste des publications et journaux périodiques, livres et brochures envoyés aux Annales.

Journal d'agriculture pratique. — Hebdomadaire. — *Rédacteur en chef* : E. Lecouteux. — Paris, 26, rue Jacob.

Journal de l'agriculture. — Hebdomadaire. — *Rédacteur en chef* : H. Sagnier. — Paris, G. Masson, 120, boulevard Saint-Germain.

Tableaux mensuels de Statistique municipale de la ville de Paris. — Paris, G. Masson.

Bulletin hebdomadaire de Statistique municipale de la ville de Paris. — Paris, G. Masson.

Revue d'hygiène et de police sanitaire. — Mensuelle. — *Rédacteur en chef* : Dr E. Vallin. — Paris, G. Masson.

Revue générale d'agriculture et de viticulture méridionales. — *Rédacteur en chef* : G. Renouard. — Marseille, typographie J. Cayes.

L'Engrais. — Hebdomadaire. — *Administration et rédaction* : 11, rue Nicolas-Leblanc, Lille.

Le Moniteur des Syndicats agricoles. — Hebdomadaire. — Paris, 1, rue Méhul.

La Gazette du village. — Hebdomadaire. — *Rédacteurs en chef* : P. Joigneaux et H. Depasse. — Paris, 26, rue Jacob.

Le Champ d'expériences. — Mensuel. — *Propriétaire-gérant* : E. Dezaphy, à Ansac (Charente).

La Vie champêtre. — Journal hebdomadaire des châteaux, agriculture, élevage, pratique, sciences. — *Directeur* : Georges de Nay, 46 rue de Moscou, à Paris.

L'Avenir des campagnes. — Revue mensuelle. — 9, rue Casimir-Périer, Paris.

L'Algérie agricole. — Bimensuel. — *Rédacteur en chef* : Ch. Rivière.

Revue sud-américaine. — Hebdomadaire. — *Rédacteur en chef* : P. S. Lamas, 23, rue Clapeyron, Paris.

Société des sciences, agriculture et arts de la Basse-Alsace. — Bulletin mensuel. — Strasbourg, G. Fischbach.

Landwirthschaftliche Jahrbücher. — Dr H. von Thiel. — Berlin, chez Paul Parey.

Zeitschrift für Biologie. — *Rédacteurs en chef* : Prof. W. Kühne et Prof. C. Voit. — Munich et Leipzig, chez R. Oldenbourg.

Zeitschrift für wissenschaftliche Mikroskopie und mikroskopische Technik. — *Rédacteur en chef* : Dr W. Behrens. — Braunschweig, chez Harald Bruhn.

Zeitschrift für physiologische Chemie. — *Rédacteur en chef :* Prof. F. Hoppe-Seyler. — Strasbourg, chez Karl J. Trübner.

Zeitschrift für analytische Chemie. — *Rédacteurs en chef :* Prof. Dr C. R. Fresenius et Prof. Dr Heinrich Fresenius. — Wiesbaden, chez C. W. Kreidel.

Journal für Landwirthschaft. — *Rédacteurs en chef :* Prof. Dr W. Henneberg et Prof. Dr G. Drechsler.— Berlin, chez Paul Parey.

Zeitschrift des landwirthschaftlichen Vereins in Bayern. — *Rédacteur en chef:* Otto May. — Munich, chez M. Pössenbach.

Zeitschrift des landwirthschaftlichen Vereins für Rheinpreussen. — *Rédacteur en chef:* Dr Havenstein. — Chez Carl Georgl.

Biedermann's Centralblatt für Agriculturchemie und rationnellen Landwirthschafts-Betrieb. — *Rédacteur en chef :* Prof. Dr Moritz Fleischer. — Leipzig, chez Oskar Leiner.

Deutsche landwirthschaftliche Zeitung. — *Rédacteur en chef:* Siewert. — Berlin.

Wiener landwirthschaftliche Zeitung. — Hugo Hitschmann, éditeur. Vienne.

Alpen- und Jura-Chronik. — Mensuel. — *Rédacteur en chef:* Fritz Rodiger. — Aarau, chez Ph. Wirz-Christen.

Agricultural Science. — Mensuel. — Prof. Charles S. Plumb, éditeur, à Knoxville (Tennessee) [États-Unis d'Amérique].

The Field ; the Country Gentleman's Newspaper. — Hebdomadaire. — *Rédacteur en chef:* Pittman. — 346, Strand London, W. C.

The Wine and Trade Review. — Mensuel. — *Rédacteur en chef:* Dr James Cherry. — Eastcheap Building, London, E. C.

Agricultural Student's Gazette. — Mensuel. — Royal agricultural College Cirencester. Chez A. T. Harmer.

Resumen de Agricultura. — Mensuel. — Pino, 5. Tipografia católica, Barcelona.

Revista del Instituto agricola catalan de San Isidro. — *Rédacteur en chef:* Don Rafael Roiy y Torrès. Barcelona.

Revue internationale scientifique et populaire des falsifications des denrées alimentaires. — Bimensuel. — *Rédacteur en chef :* Dr P. F. van Hamel Roos. — Amsterdam.

Italie. — Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio. — **Annali di Agricoltura.**

— **Bolletino di notizie agrarie.** — **Rivista meteorico-agraria.**

Le Stazioni experimentali agrarie. — *Directeur :* Prof. Pasquale Freda. — Roma, chez Eredi Botta.

Nuova Rassegna di viticoltura ed enologia della R. Scuola di Conegliano. — Bimensuel. — *Directeurs :* Dr G. Grazzi Soncini, E. Combone, A. Carperie.

Journal d'agriculture suisse. — Le Cultivateur de la Suisse romande et la Ferme suisse réunis. — Hebdomadaire. — *Rédacteur en chef:* C. Borel, à Collex (canton de Genève).

Livres et brochures adressés aux Annales.

E. GUINON. — **Leçons de choses agricoles.** Le sol et les engrais. — 1 brochure in-12. Châteauroux, imprimerie typographique Gaston Champion. 1889.

E. DOYEN. — **Du choix et de l'alimentation des vaches laitières.** — 1 brochure in-12. Petite bibliothèque du *Progrès agricole.* — Aux bureaux du *Progrès agricole.* Amiens, 23, rue des Trois-Cailloux. 1889.

L. GAILLOT. — **Guide pratique pour l'achat et l'emploi des engrais commerciaux** à l'usage des cultivateurs et des négociants. — 1 brochure in-12. *Progrès agricole,* Amiens.

Prof. G. THOMS Riga [1]. — **Zur Bestimmung der Qualität von Culturböden aus den Resultaten der chemischen und mechanischen Bodenanalyse.** (De l'estimation de la qualité des sols de culture d'après les résultats de l'analyse chimique et mécanique du sol.) — Separatdruck aus *Chemiker-Zeitung.* 1888. 12. N° 87.

Dr A. ATTERBERG, de Kamar [1]. — **Die Erkennung der Hauptvarietäten der Gerste in den nordeuropäischen Saat- und Malzgersten.** (Sur le moyen de reconnaître les principales variétés d'orges de semence et de maltage du Nord de l'Europe.) — Sonderabdruck von *Die Landwirthschaftlichen Versuchs-Stationen.* — XXXVI. Band. 1889. Berlin, Verlag von Paul Parey.

Prof. G. THOMS. — **Aus dem Laboratorium der Versuchstation Riga.** X. *Die Böden der Rigaschen Stadtgüter Schloss Lemsal, Forstei Lemsal und Forstei Wilkenhof. — Ein Beitrag zur Bonitirung der Ackererden auf Grund chemischer und mechanischer Bodenanalysen.* (Du laboratoire de la Station de recherches de Riga. X. Les sols des biens communaux *Schloss Lemsal, Forstei Lemsal* et *Forstei Wilkenhof.* — Une contribution à la classification des terres arables, basée sur les analyses chimique et mécanique du sol.) — *Baltische Wochenschrift für Landwirthschaft, Gewerbfleiss und Handel.* Numéro du 10 janvier 1889.

PECILE (Domenico). — **Intorno ad alcune norme da seguirsi nell' esecuzione di esperienze colturali.** (Sur quelques règles à suivre dans les expériences de culture.) — 1 brochure grand in-8°. Udine, tipografia di Giuseppe Seitz. 1889.

R. WARINGTON. F. R. S.. — **The agricultural value of sulphate of ammonia.** (La valeur agricole du sulfate d'ammoniaque.) — 1 brochure in-8°. Reproduite d'après *The Gas Engineer's Annual* pour 1889. — Publié chez John Whright and Co. Essex Works, Birmingham.

KINCH (Edward). — 1888. **Royal agricultural College.** — *Field Experiments.* — *Barley. Field n° 11. Plots 1-24.* — *Pasture. Field n° 13. Plots 1-14.* (Collège royal d'agriculture. — Expériences de culture. — Orge. Champ n° 11. Parcelles 1 à 24. — Pâturage. Champ n° 13. Parcelles 1 à 14.) — 1 brochure in-8°. Cirencester. Imprimé par George H. Harmer.

Chas. W. DABNEY Jr. — **First annual report of the agricultural experiment**

1. La traduction de cet intéressant mémoire paraîtra dans ce recueil.

station of the University of Tennessee for 1888 to the Governor. (Premier rapport annuel de la Station expérimentale agricole de l'Université de Tennessee pour 1888, adressé au Gouverneur.) — 1 brochure in-8° (52 pages), avec 9 planches. Knoxville (Tennessee). 1889.

C. S. Plumb. B. S. — **Report of the first assistant New-York agricultural experiment station. Geneva N. Y.** (Rapport du premier assistant de la station expérimentale de New-York, Geneva N. Y.) — Extrait du *cinquième Rapport annuel de la station expérimentale de New-York pour* 1887. — 1 brochure in-8° (140 pages). — Elmira N. Y. Advertiser Association Printers. 1887.

Cornell University. — College of agriculture. — **Bulletin of the agricultural experiment station III. November 1888.** (Université de Cornell. — Collège d'agriculture. — Bulletin de la station expérimentale agricole III. Novembre 1888.) — I. *The Insectary of Cornell University.* (La collection d'insectes de l'Université de Cornell.) — II. *On preventing the ravages of wire-worms.* (Sur le moyen d'empêcher les ravages des charançons.) — III. *On the destruction of the Plum- Curculio by poisons.* (Sur la destruction par des poisons du charançon de la prune.) — **IV. Décembre 1888.** *Growing corn for fodder and ensilage.* (Culture de grains pour fourrage et ensilage.) **V. Avril 1889.** I. *On the production of lean meat in mature animals.* (Sur la production de chair maigre dans les animaux dans l'âge mûr.) — II. *Does heating milk affect the quality or quantity of butter?* (Le chauffage du lait affecte-t-il la qualité et la quantité du beurre?) — **VI. Juin 1889.** I. *On the determination of hygroscopic water in airdried fodders.* (Sur la détermination de l'eau hygroscopique dans les fourrages séchés à l'air.) — II. *The determination of nidrogen by the azotometric treatment of the solution resulting from the Kjeldahl Digestion.* (La détermination de l'azote par le traitement de la solution résultant de la digestion de Kjeldahl.) — III. *Fodders and Feedings stuffs.* (Fourrages et matières alimentaires.)

Bulletin de la Station agronomique de l'État à Gembloux (Belgique). N° 44. — Rapport adressé à la Commission administrative des Station et Laboratoires agricoles de l'État. Deux plans des locaux. — Une brochure grand in-8°. Bruxelles, P. Weissenbruch. 1888.

Von der k. k. chemisch-physiologischen Versuchstation für Wein- und Obstbau in Klosterneuburg bei Wien vorgelegte Zusammenstellung anlässlich der in Aussicht genommenen Berathung österreichischer, ungarischer, italienischer und schweizerischer Delegirten über die Beurtheilung der Weine auf ihre Echtheit mit Rücksicht auf deren Verzollung. — 1. *Methoden der Weinuntersuchungen in verschiedenen Ländern.* — 2. *Die Beurtheilung der Weine nach den Resultaten der chemischen Untersuchung.* — 3. *Nachträge zu den Untersuchungsmethoden.* — 4. *Anhang : Bestimmungen über die Zollbehandlung von Wein in den Handelsverträgen Oesterreich-Ungarns mit Italien und mit der Schweiz.* — Separatdruck der *Weinlaube*, 1 brochure in-4°. Klosterneuburg. 1889. Verlag der *k. k. chemischen Versuchstsation für Wein- und Obstbau.* (Arrangement présenté par la Station impériale royale chimico-physiologique de viti- et fruiticulture à Klosterneuburg près Vienne, à l'occasion de la délibération des délégués autrichiens, hongrois, italiens et

suisses sur l'estimation des vins au point de vue de leur pureté eu égard au paiement des droits de douane. — 1. Méthodes d'examen des vins dans les différents pays. — 2. L'estimation des vins d'après les résultats des recherches chimiques. — 3. Suppléments aux méthodes de recherches. — 4. Appendices : Règlements concernant les droits de douane établis sur le vin par les traités de commerce de l'Autriche-Hongrie avec l'Italie et la Suisse. Tirage à part de la *Weinlaube*. Klosterneuburg. 1889. Librairie de la station, etc.

E. Petit. — **Le crapaud** (*Bufo utilis*). — Son utilité au point de vue de la culture. — Deuxième édition revue et augmentée. — 1 brochure in-8°. Pau, imprimerie et librairie Tonnet. 1889.

Paul Hariot. — **Des transformations réelles ou apparentes des végétaux et des végétations.** 1 brochure in-8°. Troyes, imprimerie et lithographie Dufour-Bouquot. 1889.

Italie. — *Ministero di agricoltura, industria e commercio.* — *Direzione generale dell' agricoltura.* — **Annali di agricoltura** 1888. — *Concorso internazionale di essiccatoi da cereali in Milano.* (Concours international de dessiccateurs de céréales à Milan.) *Relazione* (rapport) *dell' Ing. Giovanni Sacheri.* — In-8°. Roma, Eredi Botta. 1889.

Atti della commissione consultiva per la fillossera. (Actes de la Commission consultative du phylloxera.) — In-8°. Roma, Eredi Botta. 1889.

Atti della commissione consultiva per la pesca. (Actes de la Commission consultative pour la pêche.) Session d'octobre 1888. — In-8°. Roma, Eredi Botta. 1889.

Zootecnia. Provvedimenti a avantagio della produzione bovina, ovina e suina (Zootechnie. Soins à observer pour la production la plus avantageuse des races bovine, ovine et porcine.) In-8°. Roma, Eredi Botta. 1889.

Annali di agricoltura. 1889.

Sull' Industria dell' alcole, del cremore, dell' acido tartarico nei rapporti coll' agricoltura. — *Monografia del professore Enrico Comboni.* (Sur l'industrie de l'alcool, de la crème de tartre, de l'acide tartrique dans ses rapports avec l'agriculture. — Monographie du professeur Enrico Comboni.) In-8°. Roma, Eredi Botta. 1889.

Sull' etiologia dell' infezione malarica (Sur l'étiologie de la malaria). — *Memoria dei professori A. Celli e G. Guarneri.* Mémoire des professeurs A. Celli et G. Gurneri. In-8°. Roma, Eredi Botta. 1889.

Atti del concorso nazionale di Fontine e della esposizione internazionale di utensili ed ingredienti destinati alla fabbricazione di questi fromaggi. (Actes du concours national de Fontine et de l'exposition internationale des ustensiles et des ingrédients destinés à la fabrication des fromages.)

Ministero di agricoltura, industria e commercio. — *Direzione generale dell' agricoltura.* — *Ufficio ornitologico.* — **Primo Resoconto dei risultati della inchiesta ornitologica in Italia.** — *Parte prima. Avifauna italica. Elenco sistematico delle specie di Uccelli stazionarie o di passaggio in Italia con nuovi nomi vulgari e colle notizie sin qui fornite dui collaboratori nella inchiesta ornatologica compilato dal Dottore Enrico Hillyer Giglioli, professore ordinario di zoologia e anatomia dei vertebrali nel R. Instituto di studi superiori di Firenze, membro del comitato ornitologico internazionale e direttore dell'*

ufficio ornitologico. Con una carta delle stationi ornitologiche in Italia. Ministère de l'agriculture, de l'industrie et du commerce. — Direction générale de l'agriculture. — Office ornithologique. — Premier compte rendu des résultats de l'enquête ornithologique en Italie. — Première partie. Faune ornithologique italienne. — Catalogue systématique des espèces d'oiseaux stationnaires ou de passage en Italie, avec les nouveaux noms vulgaires et les notices envoyées par les collaborateurs de l'enquête ornithologique. Réunis par le docteur Enrico Hillyer Giglioli, professeur de zoologie et d'anatomie des vertébrés à l'Institut royal des études supérieures de Florence, membre du comité ornithologique international et directeur de l'office ornithologique. Avec une carte des stations ornithologiques en Italie. In-8°. Firenze, successori Le Monnier. 1889.

États-Unis d'Amérique. — *Department of agriculture. Botanical Division.* — **Bulletin n° 9.** — *Section of vegetable pathology. Peach Yellows: a preliminary report by Erwin F. Smith B. Sc. special agent. — Prepared under the direction of the Commissioner of agriculture.* (Département de l'agriculture. — Division botanique. — Bulletin n° 9. Section de pathologie végétale. — Jaunes de la pêche : Un rapport préliminaire par Edwin F. Smith B. Sc. agent spécial. Préparé sous la direction du Commissaire de l'agriculture, 1 vol. in-8°. — Washington, Government Printing Office. 1888.

U. S. Department of agriculture. Division of entomology. — **Bulletin n° 19.** — *An enumeration of the published synopses, catalogues and lists of North American insects; together with other informations intended to assist the student of american entomology.* (États-Unis. — Département de l'agriculture. — Division d'entomologie. — Bulletin n° 19. — Une énumération des synopsis, catalogues et listes publiés des insectes de l'Amérique du Nord; avec d'autres renseignements ayant pour but d'aider celui qui veut étudier l'entomologie de l'Amérique.) In-8°. Washington, Government Printing Office. 1888.

U. S. Department of agriculture. Division of chemistry. — **Bulletin n° 20.** — *Record of experiments conducted by the Commissioner of agriculture in the manufacture of sugar from Sorghum at Rio-Grande, New-Jersey; Kenner, Louisiana; Coway Springs, Douglass, and Sterling, Kansas.* 1888, by H. W. Wiley, chemist. (États-Unis. — Département de l'agriculture. Division de chimie. Bulletin n° 20. Rapport sur les expériences entreprises par le Commissaire de l'agriculture dans les manufactures de sucre de sorgho, à Rio-Grande, New-Jersey; Kenner, Louisiane ; Conway Springs, Douglass et Sterling, Kansas. 1888, par H. W. Wiley, chimiste.) In-8°. Washington, Government Printing Office. 1889.

U. S. Department of agriculture. — Division of entomology. — **Periodical Bulletin april and may** 1889. — *Vol. I. n^os^* 10 *et* 11. *Insect Life. Devoted to the economy and life. Habits of insects, especially in their relations to agriculture and edited by the entomologist and his assistants.* (États-Unis. — Département de l'agriculture. — Division d'entomologie. — Bulletin périodique, avril et mai 1889. Vol. I, n°s 10 et 11. Vie des insectes. Consacré à l'économie et au mode d'existence des insectes, spécialement dans leurs relations avec l'agriculture et publié par l'entomologiste et ses assistants.) In-8°. Washington, Government Printing Office. 1889.

Department of agriculture. — Report of the statistician. — New series. — Report n° 60. — Report on the distribution and consumption of corn and wheat and on freight rates of transportation companies, march 1889. — (Département de l'agriculture. — Rapport du Statisticien. — Nouvelle série. — Rapport n° 60. — Rapport sur la répartition et la consommation des céréales et du blé et sur les tarifs de transport des compagnies, mars 1889.) In-8°. Washington, Government Printing Office. 1889.

Idem. — *Report n° 61. — Report on the condition of winter grain, the condition of farmanimals and on freight rates of transportation companies. April* 1889. (Idem. Rapport n° 61. — Rapport sur la situation des céréales d'hiver, la situation des animaux de ferme et les tarifs des compagnies de transport. Avril 1889.) In-8°. Washington, Government Printing Office. 1889.

University of Minnesota. — Agricultural experiment station. — **Bulletin n° 7.** *April* 1889. (Université de Minnesota. — Station expérimentale agricole. Bulletin n° 7.) — Sommaire : Température des sols. Les meilleures variétés de céréales pour l'ensilage. — Amélioration par sélection et par croisement des céréales. — Lavage et salage du beurre. — Construction de murs de serres. — Essais comparatifs sur les différentes espèces de pommes de terre. — La chimie du blé. — Influence de l'alimentation sur la croissance de la tête et des dents du porc. 1 brochure in-8°. St.-Anthony Park, Ramsey Co. Minnesota.

Petite Encyclopédie agricole, publiée sous la direction de L. GRANDEAU. — L'épuisement du sol et les récoltes. — Le fumier de ferme et les engrais complémentaires, par L. Grandeau, directeur de la station agronomique de l'Est, inspecteur général des stations agronomiques et champs d'expériences et de démonstrations, membre du Conseil supérieur de l'agriculture, etc. — Ouvrage contenant 16 figures. In-12. Paris, librairie Hachette et Cie. 1889. — Prix : 1 fr. 25 c.

Le but de la petite encyclopédie agricole publiée à la librairie Hachette et Cie à Paris, par notre rédacteur en chef est exposé en détail dans l'introduction que nous reproduisons ici intégralement :

« Que sera la *Petite Encyclopédie agricole?*

Quel but se propose-t-elle? Quels services espérons-nous qu'elle est appelée à rendre ?

A quelle catégorie de lecteurs s'adresse spécialement la collection dont ce petit volume inaugure la publication ?

Un coup d'œil jeté sur les conditions présentes de l'agriculture continentale, et particulièrement sur la situation de la France, sera la meilleure réponse à ces questions.

L'agriculture, comme toute industrie, ne saurait se soustraire aux lois économiques qui règlent les transactions. Ses produits, quels qu'ils soient : céréales, fourrages, bétail, lait, légumes, fruits, aliments de toute nature ; boissons diverses, vin, cidre ou poiré ; matières premières des autres industries, laine,

chanvre, lin, tabac, houblon, graines oléagineuses, betteraves sucrières, etc., voient leur valeur vénale dépendre, avant tout, des rapports de la demande à l'offre.

Un pays dont la production en denrées alimentaires de première nécessité suffirait aux besoins de sa population aurait peu de chose à redouter de la concurrence étrangère. L'importation de matières comestibles, c'est-à-dire destinées à une prompte utilisation, est réglée bien plutôt par les besoins de la consommation du pays qui importe que par l'excédent de la production dans le pays d'exportation. Cela est particulièrement vrai pour le commerce des céréales.

La facilité des communications établies de région à région et de nation à nation, par suite des progrès gigantesques des sciences, tend à niveler le prix de toutes choses dans le monde entier. Les barrières fiscales, palliatif momentané d'un état nouveau qu'on a improprement nommé *crise agricole*, ne sauraient guérir les maux dont souffre l'agriculture depuis une dizaine d'années. Le salut de la première des industries nationales doit être cherché ailleurs.

La cause prépondérante du mal nous semble résider, à la fois, dans l'insuffisance de la production indigène et dans l'écart trop faible entre le prix de revient des denrées agricoles et leur prix de vente. Or il paraît difficile de relever ce dernier dans une mesure suffisante pour faire cesser les justes doléances des cultivateurs, sans que les consommateurs n'élèvent, à leur tour, des plaintes tout aussi dignes d'intérêt que celles des producteurs.

Il n'est au pouvoir de personne, à supposer qu'on le souhaitât, ce qui ne saurait être l'aspiration d'aucun esprit sensé, de revenir en arrière en mettant des entraves à la facilité des relations internationales. Après avoir consacré tant de milliards à la création des chemins de fer, de la navigation à vapeur, à l'établissement des lignes télégraphiques terrestres et sous-marines, des communications de tout genre qui relient entre elles les nations civilisées des deux mondes, il y aurait folie à s'étonner de l'abaissement des prix des produits de l'activité humaine : aliments, vêtements, matières premières de toute nature que son industrie met en œuvre.

Il serait coupable de déplorer la diminution du prix du pain et de la viande. C'est avec un sentiment de reconnaissance qu'il y a lieu d'accueillir les merveilleux progrès scientifiques et économiques auxquels on doit la disparition des famines qui décimaient autrefois le continent, progrès dont le résultat final est l'acheminement à la vie à bon marché.

Qu'on le veuille ou non d'ailleurs, soit qu'on s'en réjouisse avec nous, en songeant au nombre croissant d'êtres humains auxquels il est permis d'espérer de ne pas mourir de faim et de s'assurer par leur travail un bien-être relatif ; soit qu'en égoïstes, certains producteurs regrettent le temps où le défaut de concurrence maintenait les denrées de première nécessité à un prix abordable seulement pour les heureux de la terre, un fait est certain : c'est l'impossibilité de voir revenir ce temps-là. La valeur vénale de tous les produits de l'industrie humaine à fléchi notablement pour le bien du plus grand nombre ; elle ne peut désormais se relever que dans d'étroites limites.

Si donc, pour rester dans le domaine agricole, le prix du blé, de la viande et

des autres productions de la terre n'est pas suffisamment rémunérateur pour le producteur européen ; si, d'autre part, il n'existe pas, comme nous le pensons, de procédés permettant de relever notablement le cours de ces denrées, c'est dans *l'abaissement des prix de revient* d'une part et dans *l'association en vue de la suppression des intermédiaires* de l'autre qu'il faut chercher la solution pratique du problème agricole.

Plus que jamais aujourd'hui s'impose la nécessité de produire *à bon marché* les denrées dont la valeur vénale a diminué, en raison de la facilité et de l'économie des transports. Non moins urgente est la nécessité, pour le cultivateur, de sortir de l'isolement où il a vécu jusqu'ici et de chercher dans l'association, sous diverses formes, le moyen de diminuer ses dépenses d'acquisition, d'engrais, machines, etc., et la part des bénéfices que s'attribuent les intermédiaires aux dépens du producteur et du consommateur.

Le moyen le plus efficace, pour ne pas dire le seul, que l'agriculture ait, à l'heure actuelle, de produire à bon marché, consiste à obtenir économiquement les rendements les plus élevés possible, dans un temps et sur une surface donnés, qu'il s'agisse de végétaux ou de leur transformation en substances alimentaires, par l'intermédiaire des animaux.

Le problème fondamental que l'agriculteur doit résoudre, celui dont il lui faut, par toutes les voies, chercher la solution, dans les divers cas de son exploitation, est donc l'élévation économique des rendements du sol qu'il cultive. C'est à répartir, sur la production maximum du poids de la substance vivante donné par un hectare de terre, les frais de toute nature nécessités pour la mise en valeur de cette surface, que doivent tendre tous ses efforts.

Deux facteurs principaux, sans parler de l'activité et des qualités personnelles de l'exploitant, entrent en ligne de compte dans la poursuite de ce but, l'un des plus élevés que puisse se proposer l'homme, puisqu'il s'agit d'accroître la somme des moyens d'existence de l'humanité.

Ces deux facteurs essentiels de tout progrès agricole sont la science et le capital.

A la première nous demanderons l'indication des procédés et des moyens à mettre en œuvre pour obtenir le résultat *maximum* de nos efforts. Le second nous fournira les ressources indispensables à l'application des connaissances physiques et physiologiques qui sont la base et l'instrument de toute exploitation fructueuse du sol.

Science, capital, travail, tels sont les termes de tout progrès marqué dans l'art agricole actuel.

Les sciences physiques et naturelles sont assez avancées, sinon pour déchirer le voile qui couvre l'essence même des phénomènes de la vie, du moins pour nous tracer les règles de la production économique des êtres vivants, plantes et animaux, qui est l'objectif du cultivateur.

En dehors des enseignements positifs de la géologie, de la chimie et de la physiologie, tout est tâtonnement et empirisme en agriculture, c'est-à-dire négation de la méthode et du raisonnement, seuls guides dont les lumières puissent nous aider à sortir de la routine.

L'observation pure ne suffit plus aujourd'hui : tout ce qu'elle pouvait nous

apprendre, elle nous l'a depuis longtemps révélé. Il faut que, plus instruit que ses pères, le cultivateur applique à la gestion de son exploitation, comme le fait tout industriel, les résultats acquis par les sciences expérimentales.

L'observation nous apprend que les êtres vivants ont besoin, pour se développer, de recevoir une certaine somme d'aliments : elle nous montre, d'une façon générale, que les diverses plantes ne prospèrent pas également sur le même sol, que les animaux s'accroissent plus ou moins vite et fournissent des quantités variables de produits utiles à l'homme, suivant la nourriture qu'ils reçoivent. Seule, la science basée sur l'expérimentation nous donne le *pourquoi* des faits observés. C'est elle qui nous fait connaître la nature des aliments du végétal et les exigences spéciales de ce dernier. Seule, elle explique, d'après le mode de nutrition des plantes, la nécessité des assolements, le rôle de la jachère, celui des labours et des fumiers, l'influence du choix de la semence, etc. C'est encore l'expérience basée sur les connaissances physiologiques qui a conduit à la création des races de bétail les plus précoces ou les plus rémunératrices par leur aptitude à produire de la viande, du lait ou de la laine. Le perfectionnement des types végétaux et animaux, par la sélection naturelle ou artificielle, par un choix convenable d'aliments, fumiers ou fourrages selon le cas, est une conquête de la science expérimentale. Quelque partie du *ménage agricole* qu'on envisage, on est conduit à constater le rôle prépondérant des connaissances chimiques et physiologiques dans le progrès des diverses branches de l'agriculture, dont tout l'avenir est étroitement lié désormais à l'application des procédés et des méthodes qui ont porté les autres industries au degré de puissance que l'on sait.

La première condition du relèvement de l'agriculture réside donc dans l'instruction technique professionnelle de ceux qui, à un titre quelconque, participent à l'exploitation du sol : propriétaires, fermiers et métayers. C'est à présenter sous une forme simple, concise et pratique les applications à l'agriculture, de la géologie, de la chimie, de la physiologie et de la mécanique que visera la *Petite Encyclopédie*. Chacun des opuscules qui la composeront, mettra dans la main du lecteur un exposé succinct, mais précis du sujet qu'il traitera. Les ouvrages élémentaires ne peuvent rendre de services réels qu'à deux conditions : premièrement, être assez complets pour que le lecteur le moins instruit, pourvu qu'il soit intelligent, y trouve, sans recourir à d'autres sources, tout ce qu'il lui est nécessaire de connaître sur le sujet traité. En second lieu, ne présenter que les faits définitivement acquis et les méthodes solidement assises sur l'expérience. Être bref, sans cesser d'être clair et sans encourir le reproche d'être superficiel, tel est le but, difficile parfois à atteindre, que les rédacteurs de l'*Encyclopédie* auront sans cesse à l'esprit.

Les élèves des *écoles nationales* et des *écoles pratiques d'agriculture,* ceux des *écoles normales* et des *écoles primaires supérieures,* les *professeurs départementaux d'agriculture,* les *instituteurs,* les *propriétaires* et les *cultivateurs,* telles sont les catégories nombreuses de lecteurs dont nous ambitionnons les suffrages et auxquels nous pensons être utiles en entreprenant cette publication.

S'il est possible, sinon facile, de grouper dans une série de petits volumes,

accessibles à tous par leur prix peu élevé, l'ensemble des connaissances indispensables à la bonne gestion d'une exploitation rurale, il n'en est pas de même en ce qui regarde les moyens techniques d'exécution. L'instruction technique n'est, comme nous le disons plus haut, que l'un des éléments essentiels du progrès agricole : il faut que le capital vienne fournir au cultivateur instruit les ressources indispensables à l'application des bonnes méthodes de culture ou d'élevage.

C'est pour avoir compris, depuis un demi-siècle déjà, la nécessité de faire au sol les avances qu'il réclame pour augmenter sa fécondité que l'Angleterre en est arrivée à produire par hectare deux fois plus de blé que la France. C'est pour avoir méconnu cette vérité économique que le propriétaire français s'est préparé des déboires si grands, mais tout à fait réparables lorsqu'il le voudra. Une production moyenne de 10 à 15 hectolitres de froment à l'hectare a pu, pendant de longues années, alors que la main-d'œuvre était abondante et peu coûteuse, que toutes les conditions de la vie, les habitudes, les aspirations, étaient autres, permettre au tenancier de payer son fermage, d'élever sa famille et souvent même de s'enrichir. Aujourd'hui il n'en est plus ainsi, et les rendements d'un sol en partie épuisé ne suffisent plus à couvrir les charges du cultivateur, à lui donner le bien-être dont il jouissait autrefois. A plus forte raison, ses minces récoltes ne lui permettent-elles plus de réaliser la légitime ambition d'amasser quelques ressources pour ses vieux jours et de laisser à ses enfants un héritage accru par son labeur.

L'absentéisme menace de conduire le grand propriétaire français à la décadence, si ce n'est à la ruine. Il ne faut pas demander à la terre des revenus croissants sans lui faire aucune restitution, moins encore aucune avance en engrais, en semence de choix, en frais de culture améliorante. Vivant loin de ses terres, sans d'autres rapports, la plupart du temps, avec ses fermiers, que ceux qu'exige le règlement du prix du loyer de son domaine, il n'a rien fait, la plupart du temps, pour intéresser le fermier aux progrès de l'exploitation, pour élever le rendement du sol, accroître le nombre des têtes de bétail, améliorer la qualité et la quantité des produits de la terre. Combien plus sages et mieux inspirés sont ceux qui, s'intéressant à l'avenir de leurs propriétés, consacrent à leur amélioration des capitaux que d'autres ont aventurés à la légère dans tant d'entreprises douteuses ou mal conduites ! Le besoin de luxe, l'appât de dividendes élevés qui en est la conséquence, ont souvent fait lâcher la proie pour l'ombre ! Appliqué au sol, dont l'exploitation, comme toute autre industrie, ne saurait prospérer qu'à l'aide de capitaux suffisants, la moitié, le quart, le dixième peut-être des sommes englouties dans des spéculations hasardées, dans des opérations lointaines échappant à tout contrôle, aurait suffi à faire de l'agriculture française la première du monde, grâce aux ressources si variées de notre climat et de notre sol. Il en est temps encore.

Que les propriétaires français donnent un bon exemple, dont ils seront les premiers à tirer profit : qu'ils s'instruisent, qu'ils apprennent à connaître la terre qui leur appartient ; qu'ils s'enquièrent des agissements de leur fermier, qu'ils deviennent en quelque sorte leur associé et, dans la limite du possible, leur commanditaire ; qu'ils intéressent le cultivateur, par la forme des baux, à

l'amélioration de son exploitation, et les choses changeront de face pour tous deux.

Que, de son côté, le fermier use des facilités que lui offrent nos écoles pour faire donner à ses enfants l'instruction technique qu'il n'a pas reçue, qu'il s'associe à ses voisins pour la location de machines perfectionnées qui économisent la main-d'œuvre, pour l'échange des semences, pour l'achat d'engrais dans les conditions qui le soustraient à la fraude. Qu'il s'inspire des résultats obtenus dans les champs de démonstration de son voisinage, des conseils du professeur départemental, des expériences de la station agronomique la plus proche, pour améliorer ses rendements, étudier les besoins de sa terre et choisir ses fumures. Lorsqu'au lieu de 12 hectolitres, il en produira 25 à l'hectare; quand les prairies donneront une récolte de fourrage d'un tiers ou de moitié plus élevée qu'aujourd'hui, son courage abattu par les mauvaises années se relèvera promptement. Quand il sera convaincu que la plante, comme l'animal, doit recevoir une abondante alimentation pour prospérer et donner des rendements rémunérateurs, il cessera d'être réfractaire aux améliorations ; il se décidera à fumer plus largement son sol et ne tardera pas à récolter le fruit de ses avances et de ses peines.

S'il devait en être autrement, si propriétaires, fermiers, cultivateurs, persistant, à l'instar de trop d'entre eux, à considérer la terre comme une mine inépuisable à laquelle on peut toujours puiser sans jamais rien lui restituer, se refusent à consacrer à l'exploitation du sol les capitaux qu'elle exige comme toutes les industries, loin de se relever, malgré les droits protecteurs, en dépit des barrières que l'on chercherait à dresser contre l'importation étrangère, l'agriculture nationale ne sortirait plus de la phase douloureuse qu'elle traverse depuis dix ans.

Mais, j'ai hâte de le constater, ces prévisions pessimistes ne se réaliseront pas. Un mouvement marqué s'est produit depuis quelques années : on commence à comprendre cette vérité, qui est pour nous un axiome : « le relèvement de l'agriculture dépend de l'augmentation des rendements du sol. » Cela est de bon augure.

Le groupe d'amis dévoués de l'agriculture qui s'associe à nous pour fonder la *Petite Encyclopédie agricole* n'a d'autre mobile dans la campagne qu'il entreprend, que d'aider à la propagation de ce mouvement en avant : il espère qu'en favorisant la diffusion des connaissances positives sur lesquelles repose le progrès à venir, il aidera, dans une mesure si modeste qu'elle soit, au relèvement de la première de nos industries, de celle qui fait vivre près de vingt millions de Français, dont la prospérité intéresse la nation tout entière.

Le petit volume qu'inaugure notre publication a pour but de montrer l'étendue des emprunts que fait une récolte annuelle à la terre de France, et d'indiquer, à côté des ressources du sol et des exigences des plantes, les moyens économiques de restitution des matières fertilisantes. Les volumes suivants seront consacrés à l'*emploi des engrais propres à chaque récolte*, aux *cultures spéciales*, à l'*alimentation du bétail*, à l'*outillage mécanique des exploitations*, aux *labours* et autres opérations culturales, à la *construction et à l'entretien des bâtiments ruraux*, à la *préparation* et *conservation des fourrages*, à *l'élève des animaux de la ferme, etc.*

La *question des baux à ferme*, du *métayage*, l'*organisation des syndicats*, l'*installation des champs d'expériences et de démonstration*, le *fonctionnement des stations agronomiques et laboratoires agricoles, etc.*, trouveront également place dans cette modeste collection, où ne doit être laissée de côté aucune des questions dont l'examen peut concourir au but final de l'agriculture : « Faire produire au sol, au meilleur marché possible, la plus grande somme de matières utiles à l'homme. »

L'avant-propos renferme un historique succinct de la question de la restitution au sol, expose comment du laboratoire des savants les principes de la science agronomique ont reçu leur application pratique dans la culture, montre quel doit être le rôle de l'État, comme protecteur de l'agriculture, et l'importance de l'enseignement technique, et se termine par la phrase suivante qui résume au mieux le but de l'ouvrage : « Je me suis proposé en écrivant ce petit livre de grouper dans un ordre méthodique les connaissances indispensables pour guider le cultivateur dans le choix et l'emploi des matières fertilisantes. Les aliments de la plante, l'étude des milieux où elle naît et se développe (atmosphère et sol), les exigences particulières à chaque groupe de végétaux de la grande culture, tels sont les sujets que j'ai successivement esquissés et dont l'étude doit servir d'introduction à l'emploi des engrais. »

Puis viennent les chapitres dans l'ordre suivant :

I. — *Les milieux nutritifs de la plante.*

Généralités sur la nutrition des végétaux. — 1. Les aliments de la plante. — 2. Division des plantes en deux groupes. — 3. La théorie de l'humus. — 4. La doctrine de la nutrition minérale. — 5. Origine et bases de la doctrine minérale. — 6. Nouveauté de la doctrine de J. Liebig. — 7. Essais de culture dans l'eau; démonstration de la théorie minérale.

II. — *Les milieux nutritifs de la plante.*

L'atmosphère et le sol. — 8. La nutrition aérienne de la plante. — 9. Le sol et les cendres des végétaux. — 10. De l'analyse du sol. — 11. Origine et formation du sol arable. — 12. Formation des sols en place. — 13. Formation des sols de transport. — 14. Constitution de la terre arable. — 15. L'argile. — Expériences de M. Th. Schlœsing. — 16. Le calcaire des sols. Action de l'acide carbonique. — 17. Le sable et les matières organiques, leur rôle. — 18. Valeur relative des analyses de sols.

III. — *Les cendres des plantes et les exigences des végétaux agricoles.*

Les céréales. — 19. Les phases du développement de la plante. — 20. Les cendres des végétaux; leur répartition générale dans la plante. — 21. Les éléments des cendres des végétaux. — 22. Valeur des éléments fournis par les analyses de cendres de végétaux. — 23. Ordre suivi dans l'étude chimique des végétaux de la grande culture. — 24. Composition des cendres du grain et de la paille de froment. — 25. Calcul de la composition d'un hectare de blé. — 26. Ce

qu'enlève annuellement au sol français la culture du blé. — 27. Seigle, orge, avoine; leur prélèvement dans le sol. — 28. Prélèvement total d'azote, d'acide phosphorique et de potasse par une récolte de seigle, blé, orge et avoine. — 29. Maïs, sarrasin, millet; leurs exigences en principes minéraux.

Prairies et plantes fourragères. — 30. La récolte de 1886. — 31. Pommes de terre et betteraves. — 32. Prairies naturelles et artificielles.

Cultures industrielles. — 33. Graines oléagineuses. — 34. Plantes textiles et industrielles. — 35. Tabac et houblon. — 36. L'épuisement annuel du sol et la restitution par le fumier. — 37. Récapitulation d'une récolte annuelle. — 38. Conclusion générale.

IV. — *La restitution.*

Fumier de ferme et engrais complémentaires. Le fumier de ferme. — 39. La composition du fumier de ferme. — 40. Le prix de revient du fumier. — 41. Valeur vénale du fumier. — 42. Traitement et consommation du fumier de ferme.

Engrais complémentaires. — 43. Les engrais complémentaires du fumier. — 44. Classification des engrais complémentaires.

Engrais azotés. — 45. Généralités sur les engrais azotés. — 46. Engrais à azote insoluble. — 47. Engrais à azote soluble; sulfate d'ammoniaque. — 48. Nitrate de soude.

Engrais phosphatés. — 49. Généralités sur les phosphates. — 50. Guanos. Phosphorites et apatites, poudrette, etc., leur composition. — 51. Les scories Thomas-Gilchrist. — 52. Le superphosphate de chaux.

Engrais potassiques. — 53. Généralités sur le rôle de la potasse. Les principaux commerces potassiques.

Commerce des engrais. — 54. Achat et contrôle des engrais commerciaux. — 55. La fraude et la loi du 7 février 1888.

Généralité sur le mode d'emploi des engrais. — 56. Le pouvoir absorbant du sol. — 57. Du mécanisme de l'absorption des matières nutritives par les racines des végétaux. — 58. Des fumures abondantes de fumier de ferme et d'engrais complémentaires.

Le premier volume de la *Petite Encyclopédie agricole* remplit parfaitement le rôle de vulgarisation défini par M. L. Grandeau dans l'introduction, en ce sens qu'il renferme à la fois toutes les notions théoriques et pratiques sur une des questions les plus importantes de l'agriculture, énoncées avec une précision et une clarté qui les mettent à la portée de tous et en rendent l'application facile à tout cultivateur ou praticien intelligent.

Bibliothèque de l'Enseignement agricole, publiée sous la direction de M. A. Müntz, professeur à l'Institut national agronomique. — A. Müntz et A. Ch. Girard. — Les engrais, tome II. Engrais azotés. — Engrais phosphatés. — Un volume in-8°, Paris, librairie Firmin-Didot et C[ie]. 1889.

Dans un article bibliographique paru dans le tome I[er] (1887) des *Annales,* nous avons donné une analyse du tome I[er] du très intéressant *Traité des engrais* que

M. A. Müntz, le savant professeur de l'Institut national agronomique, a publié en collaboration avec M. A. Ch. Girard, chef adjoint des travaux chimiques à l'Institut national agronomique. Le tome II, paru cette année, imprimé sur papier de luxe et en très beaux caractères, renferme tous les documents sur les engrais azotés et phosphatés, résumés de main de maître. Nous ne saurions trop en recommander la lecture à tous ceux qu'intéressent ces questions de premier ordre pour l'avenir de notre agriculture et la prospérité nationale.

Dans l'introduction par laquelle débute le livre de MM. Müntz et Girard, les auteurs expliquent ce que sont les engrais chimiques, ce qui les différencie du fumier de ferme et des engrais animaux; quel rôle jouent ces engrais chimiques, l'importance qu'ils ont pour l'agriculture, au point de vue de la restitution au sol des principes indispensables à la nutrition des plantes; ils montrent quel progrès énorme a été l'introduction des engrais chimiques dans la pratique culturale et insistent sur ce fait que l'agriculteur, pour obtenir avec la dépense la plus faible le maximum de résultat utile, doit être intelligent et posséder certaines connaissances indispensables, surtout qu'aujourd'hui il peut être protégé contre les fraudes. Les agriculteurs doivent de plus se mettre au courant des règles de l'application des engrais, afin de s'en servir de la manière la plus avantageuse suivant les conditions où ils se trouvent placés. Quelques pages très intéressantes sont consacrées à une étude comparative du fumier de ferme et des engrais chimiques. Les engrais chimiques proprement dits comprennent les sels minéraux: nitrates, sels ammoniacaux et potassiques, phosphates. « On en rapproche avec raison des débris organiques ayant ou non subi des traitements industriels: sang, os, guanos, etc., riches en principes utiles. L'ensemble de ces engrais peut être désigné sous le nom d'engrais commerciaux. » Vient ensuite la classification suivante des engrais commerciaux que le commerce fournit à l'agriculteur:

1° Les engrais azotés comprenant:

Les nitrates. — Les sels ammoniacaux. — Les débris animaux. Les guanos azotés.

2° Les engrais phosphatés comprenant:

Les phosphates minéraux naturels. — Les phosphates d'os. — Les guanos phosphatés. — Les mêmes produits ayant subi des traitements chimiques. — Les scories de déphosphoration.

3° Les engrais potassiques comprenant:

Les sels potassiques extraits de l'eau de mer. — Les sels potassiques extraits des cendres végétales. — Les sels potassiques extraits des gisements salins.

4° Les engrais calcaires comprenant:

La chaux — La marne. — Les tangues, merls, etc. — Les cendres. — Le plâtre.

5° Les substances diverses telles que les composés magnésiens, les sels de soude, les sels de fer, etc.

La première partie comprend les engrais azotés.

Un traité aussi important n'étant pas susceptible d'une analyse, nous donnons ci-après les titres des divisions, chapitres et paragraphes:

PREMIÈRE PARTIE

Engrais azotés. — Origine de l'azote des végétaux. — Les engrais azotés.

CHAPITRE PREMIER.

GÉNÉRALITÉS SUR L'EMPLOI DES ENGRAIS AZOTÉS.

§ I. — *Rapport des engrais azotés avec le sol.*

§ II. — *Rapport des engrais azotés avec les cultures.*

CHAPITRE II.

AZOTE NITRIQUE.

§ I. — *Formation des nitrates.*

ficielles. — Arrosage. — Rendement des nitrières. — Extraction du nitre. — Exemples de nitrières artificielles. Nitrières de Hongrie. Nitrières de Suisse. Nitrières de Suède. Nitrières de Longpont. — Terres nitrées. Terres nitrées de Vénézuéla. Salpêtre des murailles. Salpêtre de Ceylan. Salpêtre des Indes.

§ II. *Nitrate de potasse.*

Traitement des matériaux salpêtrés. Lessivage des matériaux salpêtrés. Transformation en sel potassique. Cristallisation du nitrate de potasse. — Composition. — Falsifications. — Prix.

§ III. — *Nitrate de soude.*

Gisements de nitrate. — Origine des gisements. — Fabrication du nitrate. — Composition des caliches. Exploitation du caliche. — Composition. — Hygroscopicité. — Falsifications. — Commerce. — Importance des exportations. — Pays d'importation. — Prix.

§ IV. — *Emploi des nitrates.*

A. *Rapports du nitrate de soude avec le sol.* — Solubilité du nitrate dans le sol. — Circulation dans le sol, en l'absence des eaux pluviales. Mécanisme de la dissolution. Lenteur de la diffusion. — Influence des eaux pluviales sur la diffusion du nitrate. — L'entraînement dans les couches du sous-sol — Règles générales d'emploi. — Réactions secondaires des nitrates dans le sol. Transformation du nitrate en azote organique. Phénomènes de dénitrification. — Influence du nitrate sur l'état d'humidité des sols.

B. *Conditions et époques d'emploi du nitrate de soude.* — Applications aux différentes terres. — Déperditions dans les eaux de drainage. — Époque de l'épandage. — Épandage d'hiver. — Épandage au printemps. — Application aux différentes cultures. Céréales. Plantes de printemps. Plantes permanentes. Profondeur à laquelle il faut placer le nitrate. — Pratique de l'épandage. — Pulvérisation du nitrate. — Mélange avec matières inertes et engrais. — Nitrate et superphosphate.

CHAPITRE III.

AZOTE AMMONIACAL.

§ I. *Sulfate d'ammoniaque.*

Matières premières de la fabrication: 1° Eaux vannes; 2° Eaux ammoniacales du gaz; 3° Tourbes et schistes; 4° Matières animales diverses. — Distillation des eaux ammoniacales: 1° Appareil Malet; 2° Appareil Solvay; 3° Appareil à colonnes. — Cristallisation du sulfate d'ammoniaque. — Composition du sulfate d'ammoniaque. — Présence du rhodanammonium. — Coloration. — Falsifications. — Commerce.

§ II. — *Autres sels ammoniacaux.*

Chlorhydrate d'ammoniaque. — Azote d'ammoniaque. — Phosphate d'ammoniaque. — Phosphate ammoniaco-magnésien. — Carbonate d'ammoniaque. — Eaux ammoniacales.

§ III. — *Emploi des sels ammoniacaux.*

A. *Rapports du sulfate d'ammoniaque avec le sol.* — Solubilité de l'ammoniaque; sa circulation dans le sol. — Pouvoir fixateur du sol vis-à-vis de l'ammoniaque. — Réactions des sels ammoniacaux dans les différents sols. Formation du carbonate d'ammoniaque. Entraînement des sels dans le sous-sol. Pertes par volatilisation en sels calcaires. Nitrification. — Rapidité de la nitrification de l'ammoniaque. Influence de l'humidité. Influence de la température. — Conséquence de la nitrification au point de vue des déperditions.

B. *Conditions et époque de l'emploi des sels ammoniacaux.* — Application aux différentes terres. — 1° Terres franches. — Entraînement par les eaux pluviales: 1° suivant l'époque de l'épandage; 2° suivant l'abondance des fumures. — 2° Terres très calcaires. — 3° Terres légères. — 4° Terres argileuses. — 5° Terres acides. — Application aux différentes cultures: 1° céréales d'hiver; 2° plantes de printemps; 3° plantes permanentes. — Profondeur à laquelle il faut placer le sulfate d'ammoniaque. — Mélange avec les graines. — Pratique de l'épandage. Mélange avec des matières inertes. Mélange avec les engrais. Épandage sur les champs.

CHAPITRE IV.

AZOTE ORGANIQUE.

§ I. — *Engrais organiques azotés.*

Sang. — Sang à l'état frais. Composition. Importance de la production. Emploi direct. — Sang desséché. Coagulation et concentration. Composition du sang desséché. Prix.

Chair. — Composition à l'état frais. — Chair desséchée. — Fabrication. Prix. — Chair desséchée de provenance américaine. Résidus de la fabrication des extraits de viande. Guanos de Fray-Bentos. — Débris d'insectes. Sauterelles et criquets. Coques. Hannetons. Chrysalides de vers à soie.

Matières cornées. — Produits cornés à l'état brut. — Cornes désagrégées. Traitement par la vapeur surchauffée. Torréfaction. Composition. Prix.

Déchets de cuirs. — Produits bruts. — Cuirs désagrégés.

Déchets et chiffons de laine. — *Plumes, poils, etc.* — Déchets des industries lainières. — Tontisses. Poussières de laine. Boues de lavage. Emploi direct. Traitements industriels. Chiffons de laine. — Poils, crins, plumes.

Produits animaux divers. — Marcs de colle. — Pains de creton et dégras. — Déchets de boyaux.

Traitements chimiques des matières animales. — But de ces traitements. — Traitement par l'acide sulfurique à froid. — Procédé de M. Aimé Girard. — Traitement par l'acide sulfurique à chaud. — Traitement par l'acide chlorhydrique. — Traitement par les alcalis. Traitement par la chaux à froid. Traitement par les alcalis à chaud. — Décomposition naturelle des produits animaux. — Décomposition dans les composts. — Décomposition dans le fumier.

Engrais de poissons. — Composition des produits bruts. — Fabrication des engrais de poissons. — Débris de sardines. Abatis de poissons. Écrevisses et crabes. Débris de morue. Fabrication industrielle. — Composition des guanos de poissons. — Poudre d'os de poissons.

Guanos. — Formation des gisements. — Historique de l'emploi. — Distribution géographique des gisements. — Composition générale du guano. Transformation dont il est le siège. — Fermentation. — Influence des pluies. — Guanos du Pérou anciens. — Guanos du Pérou actuellement exploités. — Guanos de diverses provenances. — Guanos de chauves-souris. — Falsifications des guanos. — Conservation du guano. — Prix des guanos. — Vente au poids. — Vente à l'analyse. — Guanos dissous.

Déjections d'oiseaux de basse-cour. — Pigeons. — Poules. — Canards et oies. — Déjections de vers à soie.

§ II. — *Emploi agricole des engrais organiques.*

Rapport des engrais organiques avec le sol. — Formation d'humates. — Oxydation. — Formation d'ammoniaque. — Expériences en plein champ. — Expériences de laboratoire. — Nitrification des matières organiques. — Influence de la pulvérisation et des traitements industriels. — Influence de la constitution chimique. — Influence des matières étrangères. — Déperdition de l'azote: 1° à l'état de nitrates; 2° à l'état libre. — Conditions et époques d'emploi des engrais organiques. — Application aux différentes terres: Terres non calcaires; Terres légères; Terres franches; Terres fortes; Terres calcaires. — Époques de l'épandage: Épandage avant l'hiver; Épandage au printemps. — Enfouissement et emploi en couverture. — Application aux différentes cultures. — Pratique de l'épandage. — Remarques particulières sur l'emploi des guanos naturels. — Facile décomposition du guano. — Action simultanée de l'azote et de l'acide phosphorique. — Pratique de l'épandage: Pulvérisation; Mélange avec les matières inertes.

§ III. — *Comparaison entre les diverses formes de l'azote organique.*

Nécessité d'une classification des engrais organiques. — Expériences de M. Petermann. Expériences de M. Stutzer. Expériences de l'Institut agronomique au laboratoire. Expériences de l'Institut agronomique en plein champ.

CHAPITRE V.

COMPARAISON ENTRE LES FORMES AMMONIACALE, NITRIQUE ET ORGANIQUE DE L'AZOTE.

§ I. — *Comparaison entre l'azote ammoniacal et l'azote nitrique.*

Comparaison au point de vue de l'assimilation par les végétaux. — Expériences de laboratoire. — Comparaison au point de vue des rendements culturaux. — Expériences culturales. — Le sulfate d'ammoniaque est-il nuisible? — Comparaison au point de vue de la circulation dans le sol. — Comparaison au point de vue de l'entraînement par les eaux pluviales. — Résumé et conclusions.

§ II. — *Comparaison entre l'azote minéral et l'azote organique.*

Nécessité de la minéralisation de l'azote organique. — Comparaison au point de vue de l'emploi sur les cultures. — Comparaison au point de vue de l'emploi dans les différents sols : 1° Terres très calcaires; 2° Terres légères; 3° Terres fortes; 4° Terres franches; 5° Terres non calcaires. — Comparaison au point de vue de l'emploi suivant les climats. — Comparaison des prix de l'azote organique et de l'azote solubre des sols.

§ III. — *Quantité d'azote à employer.*

DEUXIÈME PARTIE

Engrais phosphatés. — Les engrais phosphatés.

CHAPITRE PREMIER.

GÉNÉRALITÉS SUR L'EMPLOI DES ENGRAIS PHOSPHATÉS.

§ I. — ***Rapports des engrais phosphatés avec le sol.***

Origine de l'acide phosphorique des sols: Roches primitives; Grès; Roches volcaniques; Calcaires. — Moyen de déterminer les besoins du sol en acide phosphorique. — Analyse chimique. Aspect des récoltes. Essais par la culture. — Forme de l'acide phosphorique dans le sol. — Déperditions de l'acide phosphorique.

§ II. — ***Rapports de l'acide phosphorique avec les récoltes.***

Teneur des principales plantes cultivées en acide phosphorique. — Exigences des récoltes en acide phosphorique. — Céréales : Blé. Orge. Différentes cé-

réales. — Plantes cultivées pour leurs racines. Turneps. Betterave fourragère. Betterave à sucre. — Plantes à tubercule. — Plantes fourragères. — Choux. Prairies naturelles. — Vignes.

CHAPITRE II.

LES PHOSPHATES NATURELS.

§ I. — *Formation et importance des gisements de phosphates naturels.*

Origine des gisements. — Importance des gisements au point de vue agricole et économique. — Répartition suivant les étages géologiques.

§ II. — *Les phosphates minéraux dans les différents pays.*

Allemagne. — Apatites du Nassau. — Description du gisement. — Propriétés des minerais. — Composition des produits.

Espagne. — Phosphates de l'Estramadure : Description des gisements ; Composition des produits. — Phosphates de Murcie.

Norvège. — Phosphates de Krajeroë.

Russie. — Phosphates de la Podolie. — Phosphates de la Russie centrale. — Autres gisements.

Angleterre. — Phosphates du pays de Galles. — Gisements divers.

Belgique. — Craie phosphatée de Ciply. — Description des gisements. Composition des craies. — Phosphate riche de Mesvin-Ciply. — Poudingues de la Malogue.

Amérique du Nord. — Apatites du Canada. — Phosphates de la Caroline du Sud.

Amérique du Sud et Antilles. — Guanos phosphatés : Formation des gisements. Guano de Mejillones. Guanos des îles de l'Océan Pacifique. — Guanos en roche. — Mode de formation. Phosphates des Antilles. Iles de Redonda, Alta, Vela, Sombrero, Novasso ; Guano de Colombie.

§ III. — *Gisements des phosphates de la France.*

Terrain liasique. — Terrain oolithique. — Terrain crétacé : 1° Étage néocomien ; 2° Étage albien : *a*) sables verts, *b*) gaize, *c*) gault ; 3° Étage cénomanien ou craie glauconieuse ; 4° Étage turonien ; 5° Étage sénonien ; Gisement du crétacé.

Phosphates de l'étage albien. — Meuse. — Ardennes. — Pas-de-Calais : *Albien ; Cénomanien.* — Marne. — Cher. — Yonne. — Ain. — Ardèche. — Drôme. — Vaucluse. — Exploitation des gisements de phosphates de l'albien. — Redevance aux propriétaires. Exploitation à ciel ouvert. Exploitation par puits et galeries. Criblage et fanage. Frais d'extraction et de transport. Lavage des nodules. Travail à l'usine. Mouture ; Analyse.

Phosphates du Néocomien. — Gard.

Phosphates du Sénonien. — 1° Phosphates arénacés. — Description des gisements. — Modes d'exploitation des sables phosphatés. — Composition des produits. — 2° Craie phosphatée. — Enrichissement par insufflation. — Enrichissement par lévigation. — Enrichissement par décantation. — Enrichissement par cuisson. — Importance des gisements.

Phosphates des terrains du Lias. — Côte-d'Or. — Vosges. — Haute-Saône.
Phosphates des terrains oolithiques. — Lot : Composition des phosphates. Exploitation. — Départements voisins. — Algérie.

§ V. — *Phosphates d'os.*

Os bruts ou os verts. — Os dégraissés. — Os dégélatinés. — Fabrication. Composition. Prix. — Cavernes à ossements. — Cendres d'os. — Cendres d'os d'Amérique. — Noir animal vierge. — Noirs de sucrerie. — Noirs de raffinerie : Composition. — Falsifications. Utilisation des os à la ferme.

§ VI. — *Scories de déphosphoration.*

Origine. — Pulvérisation. — Importance de la production. — Composition.

CHAPITRE II.

PHOSPHATES AYANT SUBI DES TRAITEMENTS CHIMIQUES.

§ I. — *Superphosphates.*

Théorie de la fabrication : Réaction principale. Réactions secondaires. Finesse du phosphate. Concentration de l'acide sulfurique. Mélange de l'acide avec le phosphate. Quantités d'acide à employer. Composition générale des superphosphates. — Rétrogradation. — Phosphate bicalcique. Phosphates de fer et d'alumine. — Fabrication des superphosphates. — Fabrication industrielle. Fabrication à la ferme. Choix du phosphate. — Enrichissement des superphosphates par l'acide phosphorique. — Réactions qui se produisent. Préparation de l'acide phosphorique. — Composition des différents produits commerciaux. — Composition générale. Acide phosphorique soluble et acide rétrogradé. — Différents types de superphosphates. — Superphosphates dérivés des apatites. Superphosphates dérivés des nodules. Superphosphates dérivés des sables et craies phosphatés. Superphosphates dérivés des os. Superphosphates dérivés des guanos phosphatés. Prix des superphosphates. — Observation générale à propos des prix.

§ II. — *Phosphate précipité.*

Fabrication. — Avantage de cette fabrication. — Composition des phosphates précipités. — Phosphate de magnésie. — Phosphate ammoniaco-magnésien. — Phosphate d'ammoniaque.

CHAPITRE III.

EMPLOI AGRICOLE DES PHOSPHATES.

§ I. — *Phosphates employés à l'état naturel.*

Transformations générales du phosphate dans le sol. — Action des matières minérales du sol. Action de l'acide carbonique. Action des matières organiques.

Influence de la nature des engrais phosphatés. Influence du sol. Terres acides. Terres argileuses. Terres calcaires.

Application du phosphate au sol. — Terres de défrichements. — Rôle du phosphate dans les défrichements. Quantités de phosphate à employer. Époque de l'épandage. Nature des phosphates à employer. Durée d'action des phosphates. Phosphatage et chaulage. Prairies acides. Application aux différentes cultures. Terres imperméables.

Terres franches. — Mélange du phosphate avec les matières organiques. — Phosphatage du fumier. Mélange avec les marcs. Mélanges avec les tourbes.

Pratique de l'épandage des phosphates. — Époques. — Doses à employer. — Pratique de l'épandage. — Enfouissement. — Les phosphates considérés comme amendement calcaire.

Comparaison des phosphates naturels entre eux. — Degré de division des phosphates. — Procédés divers de pulvérisation. Augmentation des surfaces. Composition des parties fines et grossières. Solubilité des parties fines et grossières. Détermination du degré de finesse. — État moléculaire des phosphates. — Solubilité dans l'oxalate d'ammoniaque. — Phosphates minéraux. — Apatites. Phosphorites. Phosphates arénacés. Craies phosphatées. Nodules et coprolithes. — Scories de déphosphoration. — Produits d'os et guanos.

§ II. — *Phosphates ayant subi des traitements chimiques.*

Transformation dans le sol. — Phosphate monocalcique. Phosphates de fer et d'alumine. Phosphate bicalcique. Terres sableuses. Terres argileuses. Terres calcaires. Terres acides. — Finesse des superphosphates et des phosphates précipités. — Leur épandage. — Époque. — Doses à employer. — Enfouissement. — Emploi en couverture. — Épandage. — Broyage. — Mélange avec les engrais. — Mélange du superphosphate avec le fumier. — Comparaison entre les différents phosphates ayant subi des traitements chimiques. — Différents superphosphates. — Apport de plâtre par les superphosphates. — Phosphates précipités. — Comparaison entre le phosphate monocalcique et le phosphate bicalcique. — Phosphate ammoniaco-magnésien.

§ III. — *Comparaison entre les diverses formes de l'acide phosphorique dans les produits naturels et dans les produits ayant subi des traitements chimiques.*

Comparaison au point de vue de l'assimilation par les plantes. — Comparaison au point de vue de la diffusion dans le sol. — Expériences culturales. — Emploi suivant les sols. — Comparaison au point de vue économique.

Comme nos lecteurs peuvent en juger, le *Traité des engrais* de MM. A. Müntz et A. Ch. Girard, est un livre précieux à la fois pour l'agronome, le propriétaire foncier, l'agriculteur, le cultivateur et le chimiste agricole. Il est appelé à occuper une place des plus importantes dans la littérature agricole, car il renferme un exposé complet de toutes les théories nouvelles concernant l'assimilation, la transformation des engrais dans le sol, tous les renseignements sur leur origine,

leur fabrication, leur mode d'application, leur action différente suivant les terres, etc.

En publiant ce traité, en même temps théorique et pratique, les auteurs ont rendu un service inappréciable à l'agriculture, comblé un vide dans la bibliothèque de l'agronome et nous sommes heureux de leur en exprimer ici toute notre reconnaissance.

R. WARINGTON F. R. S. — *La Chimie à la ferme*, manuel de chimie et de physiologie appliquées aux plantes agricoles et aux animaux domestiques. — Édition revue et augmentée par l'auteur, traduite de la cinquième édition anglaise par Paul de WUYST, docteur en droit, ingénieur agricole, agronome de l'État, etc., et Pierre WAUTERS, agronome. — Annotée par MM. A. PROOST, inspecteur général de l'agriculture, et A. de MARBAIX, médecin vétérinaire, professeurs à l'Université de Louvain. — 1 volume in-8° (189 pages). — Bruxelles, G. MAYOLEZ, et Paris, G. MASSON, 1889.

Ce livre est la traduction de l'ouvrage bien connu de M. R. Warington : *The chemistry of the farm*, qui fait partie d'une encyclopédie agricole très estimée en Angleterre à laquelle ont collaboré des praticiens et des savants distingués, notamment : T. Bowick. — W. Burness. — G. Murray. — W. T. Carrington. — G. Gilbert. — J. Lang. — S. Hill. — Sanders Spencer. — J. J. C. Morton. — G. T. Brown. — J. Wortley-Axe. — J. Scott. — J. Buckman. — Dr Manwell. — T. Masters. — R. Warington.

Cette encyclopédie comprend :

The chemistry of the farm (La chimie de la ferme) . . .	1 volume.
The live stock of the farm (Le bétail de la ferme). . . .	—
The soil of the farm (Le sol de la ferme)	—
The plant life of the farm (La vie végétale de la ferme).	—
The equipement of the farm (L'équipement de la ferme).	—
The darry of the farm (La laiterie de la ferme).	—
The animal life of the farm (La vie animale de la ferme).	—

Chez Bradbury Agnew et C°, 9, Bouverie Street, London.

Cette traduction, faite avec le plus grand soin par P. de Wuyst et P. Wauters, a été corrigée et augmentée par M. R. Warington ; ce qui a permis aux traducteurs de faire de ce manuel une œuvre plus complète et plus récente que l'édition anglaise. En introduisant dans la littérature française un ouvrage de grande valeur pour l'agriculteur, l'agronome et le cultivateur, MM. P. de Wuyst et P. Wauters ont rendu un réel service. Leur traduction est appelée à prendre place dans la bibliothèque de tous ceux qui portent un intérêt quelconque aux applications pratiques de la science agronomique et de la chimie agricole.

Le chapitre premier de la première partie traite des plantes de la ferme. Le sommaire suivant indique en détail les sujets dont il est parlé dans ce chapitre :

Croissance de la plante. — *Composition.* — Eau. — Éléments combustibles de la plante. — Proportion de cendres contenues dans ses diverses parties. — Éléments essentiels et non essentiels des cendres. — Composition d'une récolte d'herbages. — *Rôle des feuilles.* — Assimilation du carbone de l'air. — Formation de la matière végétale. — Respiration de la plante. — Transpiration. — *Rôle des racines.* — Absorption des éléments minéraux et azotés du sol. — Pouvoir sélecteur des plantes. — Excrétion des matières inutiles. — Distribution et rôle des éléments minéraux dans la plante.— *Germination.* — Caractères généraux des graines. — Conditions et processus de la germination. — *Développement de la plante.* — Plantes annuelles. — Ordre suivant lequel les éléments de la plante sont assimilés. — Épuisement des racines et de la tige pendant la formation de la graine. — Plantes bisannuelles et vivaces. — Réserves d'aliments pour la saison suivante. — Richesse saccharine de la sève du printemps.

CHAPITRE II.

LES SOURCES DE NOURRITURE POUR LA PLANTE.

L'atmosphère. — L'acide carbonique, l'ammoniaque et l'acide nitrique qu'elle fournit. — Les quantités d'azote combiné, de chlorures et d'acide sulfurique contenues dans la pluie. — *Le sol.* — Son origine. — Propriétés du sable, de l'argile, du calcaire et de l'humus. — Les rapports du sol avec l'eau et la chaleur. — Aliments des plantes contenus dans le sol, leurs quantités, leurs qualités requises. — L'oxydation dans le sol. — Pertes par le drainage : porosité. — Le pouvoir absorbant des différents sols. — Influence du labour, du drainage et de l'écobuage.

CHAPITRE III.

LES ENGRAIS.

Différence entre la végétation naturelle et l'agriculture. — Nécessité de la restitution. — *Fumier.* — Circonstances qui influent sur ses qualités. — Changements pendant la fermentation. — Sa composition moyenne. — Lenteur de ses effets. — Plantes marines. — *Guano.* — *Engrais du poisson.* — *Sulfate d'ammoniaque.* — *Nitrate de soude.* — *Suie, sang desséché, cornes et déchets de laine.* — *Poudre de viande.* — *Os.* — *Tourteaux.* — *Phosphates Thomas.* — *Phosphates moulus.* — *Superphosphates.* — *Plâtre, chaux, craie et marnes.* — *Sels potassiques.* — *Sel commun.* — *Application des engrais.* — Importance d'une parfaite distribution. — Temps le plus favorable à l'application. — Utilisation des engrais employés. — Rendement dû aux engrais azotés. — Effets des résidus laissés par les fumures antérieures.

CHAPITRE IV.

RÉCOLTES.

Quantité de matières sèches, d'azote et d'éléments minéraux contenus dans les récoltes moyennes. — *Céréales.* — Leur composition. — Mode de nutrition.

— Engrais le mieux adapté. — *Foin de prairie.* — Composition. — Nécessité de restituer les éléments minéraux. — Influence des engrais sur la qualité et la quantité. — Aptitude spéciale des prairies pour fixer l'azote contenu dans l'atmosphère. — *Légumineuses.* — Composition. — D'où vient leur azote. — Sol fatigué par les légumineuses. — *Plantes racines et tubercules.* — Leur composition. — Différences entre la nutrition des navets, des betteraves et des pommes de terre. — *Culture forestière.* — Production d'une quantité considérable de matières sèches avec peu d'éléments minéraux et d'azote. — *L'adaptation des engrais aux cultures spéciales.* — On doit tenir compte de la puissance d'assimilation de chaque plante. — Distribution économique des engrais pendant une rotation. — La valeur pratique des engrais ne peut être connue que par des expériences faites dans chaque ferme. — *Influence du climat et de la saison.* — *Effets de l'excès ou du manque d'eau et de chaleur.* — Influence de l'hiver précédent. — *Résidus laissés par les récoltes.* — Leur action. — Leur différence dans les diverses cultures. — *Mauvaises herbes.* — Leur action utile et nuisible.

CHAPITRE V.

Rotation des récoltes.

But de la rotation. — *Jachère nue.* — Ses effets sur le sol. — Production de nitrates. — Récoltes vertes consommées par le bétail ou enfouies dans le sol. — *Caractères distinctifs des plantes cultivées.* — Différences entre les périodes de végétation, le développement des racines, le pouvoir d'assimilation et la quantité d'éléments nutritifs nécessaires. — *Pertes subies par le sol pendant une rotation.* — Pertes subies pendant une période de quatre ans. — Moyens de les compenser. — Pertes en nitrates, moyens préventifs. — Gain en azote provenant de l'atmosphère. — Vente des produits autres que le grain et la viande.

DEUXIÈME PARTIE

Les animaux de la ferme.

CHAPITRE VI.

Nutrition animale.

Composition du corps animal. — Eau, albuminoïdes, matières gélatineuses, productions de nature cornée, graisse et éléments minéraux. — Composition des animaux dans les diverses phases de la croissance et de l'engraissement. — Composition de la laine et du lait. — Perte occasionnée dans la ferme par la vente du lait, du fromage et du beurre. — Proportion de la partie utile ou du poids net dans les divers animaux. — Composition de l'augmentation en poids pendant l'engraissement. — *Marche de la nutrition.* — Éléments qui

composent la nourriture et leurs fonctions spéciales dans le corps. — Digestion. — Respiration. — Excrétion.

CHAPITRE VII.

Aliments.

Composition des aliments. — Détails de leur composition. — Proportion d'azote existant sous forme de matières albuminoïdes. — Valeur comparative des aliments. — *Circonstances qui font varier la composition des aliments.* — Degré de maturité. — Influence des fumures. — Changements qui s'opèrent par le fanage, par l'ensilage. — *Digestibilité des aliments.* — Méthodes de détermination. — Expériences sur les ruminants. — Expériences sur les chevaux. — Expériences sur la volaille. — *Circonstances qui influent sur la digestibilité des aliments.* — Influence de l'âge de l'animal. — De son travail. — De sa ration. — Influence de la maturité des fourrages sur leur digestibilité. — Influence de la digestibilité d'un aliment sur celle d'un autre. — Sel de cuisine. — *Valeur nutritive comparée des aliments.* — Composition au point de vue de la production de la chaleur et du travail. — Proportion des matières albuminoïdes et non albuminoïdes. — Influence de la quantité d'eau. — *Conclusions générales.*

CHAPITRE VIII.

Adaptation de la nourriture aux besoins des animaux.

Les besoins d'un jeune animal. — Composition du colostrum et du lait. — Relation nutritive de ces aliments. — L'*animal adulte.* — Nature du travail. — Ration d'entretien. — Ration de travail. — L'*animal à l'engrais.* — Conditions nécessaires à l'engraissement. — Résultats obtenus avec des rations ordinaires dans les expériences sur des bœufs, moutons et porcs. — Différences dans la quantité d'aliments consommés et dans l'augmentation de poids aux diverses périodes de l'engraissement. — Relations nutritives pour les animaux à l'engrais. — *Production de la laine.* — Influence des rations sur la quantité du lait. — Relation nutritive pour les vaches. — Production comparée de substances azotées par la vache et le bœuf. — Influence de la nourriture sur la qualité du lait et du beurre.

CHAPITRE IX.

Rapport des aliments avec le fumier.

Quantité de fumier produite par les bœufs, les moutons et les porcs selon les aliments. — Proportion d'éléments minéraux et d'azote de la nourriture qui est rejetée par les excréments liquides et solides. — Composition des excréments du bœuf et du mouton. — Valeur comparative des fumiers provenant de divers aliments. — Valeur des éléments minéraux et azotés du fumier, comparée à celle des mêmes éléments dans les engrais artificiels. — Emploi économique du fumier.

CHAPITRE X.

La laiterie.

Le lait. — Sa composition. — Circonstances qui modifient sa richesse. — La coagulation du lait. — *La crème.* — Les globules de graisse. — Méthodes d'écrémage. — Composition de la crème. — *Lait écrémé.* — Sa composition. — *Le beurre.* — Le barattage. — Composition du beurre. — *Le lait de beurre.* — Sa composition. — *Le fromage.* — Présure. — Fabrication du fromage. — Composition du fromage. — *Le petit-lait.* — Sa composition. — Propreté nécessaire.

Un index alphabétique, placé à la fin du volume, facilite beaucoup les recherches.

Annexe au rapport du Ministère de l'agriculture (Canada). — Les fermes expérimentales. — Rapports du directeur-professeur Saunders; de l'entomologiste et botaniste M. Fletcher; du chimiste M. Shutt et de l'horticulteur M. Hilborn pour 1887. — Imprimé par ordre du Parlement. — 1 brochure in-8° (64 pages), avec 20 figures dans le texte. — Ottawa : imprimé par Brown Chamberlin, imprimeur de la *Revue* et contrôleur de la papeterie, 1888.

Rapport de Wm. Saunders, M. S. R. C. F. L. S. F. C. S. directeur des fermes expérimentales. — Ferme expérimentale centrale. — Sol vierge pour les expérimentations. — Drainage. — Nivellement et clôture. — Plans. — Chevaux. — Voitures. — Instruments agricoles, etc. — Bâtiments. — Approvisionnement d'eau. — Arboretum et Jardin botanique. — Lac Dow. — Bulletins. — Aides pour la direction des travaux. — Les autres fermes expérimentales. — Ferme expérimentale des provinces maritimes.

Rapport de l'entomologiste et botaniste James Fletcher, membre de la Société royale du Canada, de la Société linnéenne, etc. — Céréales. — Blé ou froment. — La mouche à blé (*Wheat Midge, Diplosis tritici, Kirby*). *Attaque.* — Ver du chaume du blé (*Wheat Stem Maggot, Meromyza americana, Filch.*) — Avoine. — Puceron du grain (grain Aphis, *Siphonophora avenœ, Fab.*) — Vers blancs. — Orge. — Rouille. — Pois. — Foin et trèfle. — Foin. — Ver du joint (*Joint-worm*). — La légionnaire grise (*Army-worm, Leucania unipuncla, Haworth*). — *Attaque.* — Trèfle. — Chenilles du soufre (*Cloudat Sulphur Butterfly, Colias Philodice, Goett.*) — Ichneumonide parasite (*Megorismus nubilipennis, Ashm*), parasite de ces chenilles. — Plantes. — Racines et légumes. — Navets ou Turneps. — Altise ou puce de terre du navet. — (*Turnip Fleu beetle, Phyllotreta vittata, Fab.*) — *Attaque.* — *Remèdes* : 1° choix des variétés les plus résistantes. ; 2° choix judicieux du moment de l'ensemencement suivant la localité ; 3° poison actif. — Un puceron du navet (*A Turnips Aphis, Aphis brassicœ, L.*). *Attaques.* — *Remèdes.* — Le barbeau rouge. — noir du navet (*Red and black Turnip Beetle, Entomoscelis adonidis, Fab.*). — *Attaque.* — Pommes de terre ou patates. — Barbeau de la pomme de terre ou

mouche à patate (*Colorado Potato Beetle, Doryphora decemlineata, Say*). — Une cantharide (*Blister beetle, Epicanta maculata, Say*). — Sarcobate vermiculé (*Grease-wood, Sarcobatus vermiculus, Tor*). — Vers jaunes ou larves des Taupins ou sautereaux (*Skip-Jack beetles, Elaterides*). — Carottes. — Chenille du papillon porte-queue noir (*Black Swallow. Tail Butterfly, Papillio Asterias, Fab*). — Bêtes à Dieu (« *Lady bird* » *beetles, Coccinella transversoguttata, Fab.*). — La mouche de la carotte (*Carrot Fly,* « *Rust Fly* », *Psila rosæ, Fab.*). — *Attaque.* — *Remède.* — Choux. — Chenilles du papillon blanc du chou importé d'Europe. — Mouches anthomyes ou vers de racines. — Le papillon blanc du chou importé, « Chenille du chou » (*Imported White Cabbage Butterfly, Pieris Rapœ, L.*). — *Attaque.* — *Remèdes.* — Le ver de la racine du chou (*Cabbage Maggot, Anthomya brassicœ, Bouché*). — *Attaque.* — *Remède.* — Oignons. — Vers de racines, vers gris. — Turcos ou chenilles de Noctuelles. — Ver de l'oignon (*Oignon Maggot, Phorbia ceparum, Meigen*). — *Attaque.* — *Remèdes.* — Raves ou radis. — Le ver de la rave. (*Raddish Maggot, Anthomya raphani, Harr.*) — *Attaque.* — *Remèdes.* — Arbres, arbustes et plantes à fruits. — « La récolte des fruits cette année, sauf pour le raisin, a été plutôt au-dessous de la moyenne. Le déficit, on doit l'avouer, est en grande partie dû aux attaques des insectes ravageurs. C'est le pommier qui, d'après nos renseignements, a souffert les dommages les plus notables. Les arpenteuses et le xylébore ont apparu dans les provinces maritimes, les chenilles à tente de Québec au Pacifique, le ver de la pomme et le tigre sur bois de l'Atlantique au Pacifique, ainsi que bien d'autres attaques moins sérieuses ou de moindre étendue sur d'autres arbres fruitiers. Le charançon de la prune cause encore un dommage considérable. L'une des découvertes les plus importantes de ces dernières années est peut-être bien l'utilité du vert de Paris et autres composés arsénicaux contre le ver de la pomme et le charançon de la prune. » — Pommiers. — Le ver ou pyrale de la pomme (*Codling Moth, Carpocapsa pomonella, L.*). — *Attaque.* — *Remèdes.* — Le puceron du pommier (*Apple Aphis, Aphis mali, Fab.*). — *Attaque.* — *Remèdes.* — Chenilles à tente (*Tent caterpillars, Clisiocampa americana, Harr ; disstria, Hubn.* et *Californica, Pack.*). — *Attaque.* — *Remèdes.* — Le tigre sur bois ou kermès coquille (*Oyster-shell Bark-louse, Mytilapsis pomorum, Bouché*). — *Attaque.* — *Remèdes.* — Le xylébore du poirier (*Pear-blight beetle,* « *Shot-borer, Pirs-borer,* » *Xyleborus dispar, Fab.; X. pyri, Peck,* des auteurs américains). — *Attaque.* — La chenille à bosse rouge du pommier (*Red humpect Apple-tree catorpillar, Œdemasia concinna, Sm. et Abb.*). — *Attaque.* — Vigne. « La récolte de raisin a été cette dernière saison exceptionnellement bonne ; quoiqu'il nous ait été adressé quelques échantillons d'insectes nuisibles, on ne se plaint pas de dommages graves. L'apparition fort intéressante, mais très préjudiciable, de la « Galle tomate de la vigne » m'a été signalée dans le jardin du capitaine D. K. Couley, de la route de Richmond, Ottawa. J'espère l'étudier la saison prochaine en vue de découvrir quelque remède. » — La cicadelle ou *Tettigora* de la vigne (*Grapevise Leaf Hopper, Erythroneura vitis, Harr.*). — *Attaque.* — *Remèdes.* — L'arpenteuse de la vigne (*Grape vigne Looper, Cidaria diversilineata, Hubn.*). — *Attaque.* — *Remèdes.* — La patte-étendue (*Beautiful*

Wood Nymph, Eudryas grata, Fab.). — *Attaque.* — Framboisiers. — Araignée rouge (*Red Spider, Tetranychus telarius, L.*). — Petite coccinelle (*Scymnus punctatus, Melsh.*). — Perceur du framboisier (*Raspberry cave-borer, Oberea bimaculata, Oliv.*). — Le byture unicolore (*Pale Brown Byturus, Byturus unicolor, Say*). — *Attaque.* — *Remède.* — Minuscule proctotrupide, *Lycocenus stigmatus, Say,* et deux spécimens d'un tout petit moucheron, *Diplosis aphidimiza.* — Gadelliers ou groseilliers à grappe. — Fausse chenille importée du gadellier. — Charançon de la gadelle (*Currant Weevil, Anthonomus rubidus, Say*). — Chenille épineuse du gadellier (*Grapta Progne, Cram.*). — Le pou de l'écorce du gadellier (*Currant Bark Louse, Lecanium ribis, Fitch*). — *Attaque.* — *Remède.* — Fraisiers. — Charançon du fraisier (*Strawberry Weevil, Anthonomus musculus, Say*). — *Attaque.* — *Remèdes.* — Arbres forestiers et d'ornement. — Bois francs ou durs : érables, chênes, etc. « Une invasion d'insectes des plus remarquables de l'année a été l'apparition par légions de chenilles à tente, dont il a déjà été fait mention. Tout près d'Ottawa les forêts présentaient un aspect des plus étranges. Les feuilles étaient percées et déchiquetées au point que sur certains arbres il ne restait plus guère que moitié de la surface totale. Il en était surtout ainsi sur la rive nord de la rivière d'Ottawa et le long de ses bords. Les agriculteurs, qui ne connaissaient pas les mœurs de ces chenilles, furent fort alarmés ; après avoir dépouillé de leurs feuilles les érables, les chênes, les trembles, etc., s'abattraient-elles peut-être sur les récoltes de grains? Cet émoi provenait sans doute de ce qu'on parlait à tort de cet insecte comme étant la légionnaire (*Armyworm*). Quoi qu'il en soit, certains cultivateurs en étaient arrivés à parler de brûler les clôtures « pour tuer les chenilles et leur intercepter le passage entre les bois et les clôtures » et je crus nécessaire d'écrire à l'un des principaux cultivateurs du district infecté pour le prier d'expliquer la nature de l'insecte et prévenir ainsi une destruction sans raison. — La colonie des coupeuses de feuilles d'érable (*Maple-Leaf Cutter, Incurvaria acerifoliella, Pack*) à Ottawa, qui est décrite dans mon rapport précédent, continue à augmenter d'une façon inquiétante. Aucun parasite n'a encore été découvert. » — Bouleaux. — La mouche à scie du bouleau (*Birch saw fly, Hylotoma dulciaria, Say*). — *Attaque.* — Conifères. — Pins. — Le charançon à galles du pin rouge (*Red Pine Gall-Weevil, Podapim gallicola, Riley*). — Épinettes ou sapins. — Le barbeau de l'écorce de l'épinette (*Spruce bark beetle, Deutroctonus rufipennis, Kirby*). — *Attaque.* — Mélèze d'Amérique, Épinette rouge ou Tamarack. — La mouche à scie du mélèze (*Larch sawfly, Nematus Erichsonii, Hartig*).

Rapports du chimiste Frank T. Shutt, maître ès-arts, membre de la Société de chimie. — Adressés à M. le professeur Saunders, directeur des fermes expérimentales de la Puissance. — Rapport n° 1. Analyse de marne. — Rapport n° 2. Analyse d'une eau alcaline du Manitoba. — Rapport n° 3. Rapport sur l'analyse des eaux de la ville d'Ottawa. — Laboratoire de la ferme expérimentale centrale. — Analyse d'une eau saline d'un sondage à 170 pieds de profondeur sur la ligne de base dans la section 31, canton 4, rang 1, Ouest, Manitoba. — Source puissante, très abondante. — Envoi de M. John Lown, sous-ministre de l'agriculture par intérim. — En terminant, le chimiste des

fermes expérimentales, M. Fr. T. Shutt, M. A. F. C. S., ajoute : « Je suis en ce moment occupé à effectuer une série d'analyses dans le but de déterminer les qualités comparatives de certains blés et aussi, s'il est possible, de découvrir quel effet, si effet il y a eu, les climats variés, les sols différents, etc., ont produit sur la constitution ou la composition de chaque blé. Le résultat de ces analyses fera aussi connaître les valeurs relatives du blé Red Fyfe, récolté dans notre Nord-Ouest, et du blé Ladoga nouvellement importé de Russie suivant qu'il a crû en Russie ou dans les différentes provinces de la Puissance. J'ai l'honneur de vous soumettre respectueusement le tout. »

Rapport de l'Horticulteur M. W. Hilborn. — Arbres fruitiers pommiers : 903 arbres appartenant à 297 variétés dont 174 de Russie et autres parties de l'Europe septentrionale. A l'automne, 216 ont été plantés à demeure pour servir de témoins, au point de vue des avantages respectifs de la plantation en automne et de celle au printemps. — Pommiers sauvages : 26 arbres appartenant à 12 variétés, la plupart d'origine américaine. — Poiriers : 298 appartenant à 101 variétés, dont 45 du Nord de l'Europe. — Pruniers ; 197 arbres appartenant à 72 variétés, dont 32 sont de Russie et d'autres parties de l'Europe septentrionale. — Cerisiers : « On n'a encore guère planté de cerisiers autour d'Ottawa. Notre collection de 155 arbres appartenant à 71 variétés, dont 54 de Russie et autres parties de l'Europe septentrionale, offrira donc d'autant plus d'intérêt. Dans le nombre, il y en a de très rustiques et de grande valeur, des familles Ostheim et Vladimir. » — Pêchers : 25 appartenant à 11 variétés américaines. — Abricotiers : 7 appartenant à 4 variétés, 2 de Chine et 2 d'Europe. — Arbustes fruitiers et fraisiers. — Vigne : « La collection de la ferme comprend 891 pieds appartenant à 127 variétés.— Gadelliers ou groseilliers à grappe : 865 pieds, appartenant à 20 variétés.— Groseilliers (à maquereau) : 251 pieds de 30 variétés nommées et environ 50 semis fort intéressants non nommés, dont bon nombre originaires du Canada. — Framboisiers : 3,650 pieds dont 38 variétés nommées et environ 200 plants de semis non nommés, la plupart provenant de sélections faites par le professeur W. Saunders, et dans le nombre plusieurs hybrides, entre les variétés à fruit noir et à fruit rouge. — Ronce : 500 plants appartenant à 20 variétés nommées. — Fraisiers : 90 variétés et environ 50 plants de semis non nommés. Il y a en tout 20,900 fraisiers. »

Un index alphabétique, placé à la fin de la brochure, facilite beaucoup les recherches.

W. H. Lynch. — *La pratique de la laiterie suivant les données de la science.* — Qualité supérieure, production économique, commerce méthodique rendent l'agriculture rémunératrice. — Dédié aux agriculteurs canadiens. — Avec une introduction de L. B. Arnold, professeur d'industrie laitière à l'Université de Cornell, État de New-York. — Traduit de l'anglais. — Publié avec l'aide du Parlement du Canada. — Avec illustrations. — 1 brochure in-8° (80 pages).— Appendice avec annonces. — Ottawa. — A. S. Woodburn, 1886.

Avant de donner un résumé aussi complet que possible de l'intéressante brochure de M. W. H. Lynch, nous tenons à exprimer ici toute notre reconnaissance

à M. le Dr Trudel, d'Ottawa (Canada), ce colonisateur infatigable et dévoué, qui défend si vaillamment les intérêts de la France au Canada, consacre tous ses efforts à établir là-bas la « *french domination* », à propager les doctrines agricoles et à contribuer au développement de toutes les branches de l'agriculture, avec un zèle au-dessus de tout éloge. C'est à lui que nous sommes redevables d'avoir dans notre bibliothèque tous les documents statistiques officiels du Canada et plusieurs brochures et publications, parmi lesquelles celle de M. W. H. Lynch, qui fourniront à notre bibliographie des contributions pleines d'intérêt.

L'ouvrage est précédé d'une introduction due à la plume d'un spécialiste distingué, M. L. B. Arnold, professeur d'industrie laitière à l'Université de Cornell, qui, dans un exposé très clair des principes fondamentaux de la pratique de la laiterie, montre quelle importance a pour le Canada la vulgarisation de procédés pratiques perfectionnés, simples et économiques, de fabrication du lait et du fromage, étant données les conditions exceptionnellement favorables qu'offre le Canada par sa situation. Dans toutes les parties habitées de ce pays, les plantes à pâturages, base de l'alimentation au point de vue de la production du lait, se développent naturellement : l'hiver long et rigoureux nécessite la stabulation ; l'été chaud et plus humide que celui des latitudes moins élevées stimule la végétation. Ce qui fait que le bétail a à sa disposition des fourrages verts, succulents, riches et tendres, très faciles à convertir en lait d'excellente qualité : Si l'on ajoute à ces conditions d'alimentation exceptionnelle, le climat salubre et l'abondance de l'eau claire, on conviendra avec le savant professseur que « le Canada offre à l'industrie laitière un champ dont les avantages ne sont surpassés nulle part sur le continent ».

Puis, M. le professeur L. B. Arnold fait ressortir avec une grande justesse, que seules, les meilleures conditions naturelles qu'offre une région pour l'élevage et l'alimentation du bétail et la production du lait, ne sont pas suffisantes en elles-mêmes pour donner à un pays aussi favorisé la supériorité sur les autres au point de vue de la qualité des produits fabriqués. Insuffisante en effet au point de vue pratique, est la science ou la théorie de la laiterie : *il faut aussi fabriquer bien*. Supprimer les anciennes routines, propager et vulgariser les nouvelles méthodes de fabrication du lait, du beurre et du fromage, en un mot doter cette industrie agricole si complexe d'un traité de la pratique de la laiterie, voilà le but essentiel qu'a poursuivi et atteint avec un succès complet W. H. Lynch.

Ainsi que le fait très bien remarquer en terminant M. le professeur Arnold, « la production du beurre, si l'on prend soin des fumiers et si l'on utilise les produits secondaires de la laiterie, n'enlève *rien* à la terre ; elle lui laisse tout le profit de la restitution des engrais », tandis que la culture des céréales serait beaucoup moins avantageuse, d'après les chiffres que cite le savant professeur qui conclut de la façon suivante : « Ma conclusion, c'est que, à revenus apparemment égaux, obtenus de la production du beurre ou de la production de grain, le cultivateur et l'homme d'État n'ont pas à hésiter longtemps dans le choix de celle de ces deux productions que l'un doit suivre et l'autre encourager. »

Nous ne disposons malheureusement que d'une place trop restreinte pour donner ici un exposé très détaillé de cet ouvrage plein d'intérêt et nous devons nous borner à le signaler à nos lecteurs, dans ses traits principaux, en donnant le titre des chapitres et un résumé de leur contenu.

Ce livre se divise en deux chapitres : Chapitre premier. La pratique de la laiterie. — Chapitre deuxième. Le lait.

L'index dont nous donnons ci-après la reproduction intégrale, donnera une idée générale et complète de la valeur de l'œuvre.

en industrie laitière. — Sélection. — Silos. — Sceaux. — Son. — Sucre. — Supplément au pâturage. — Système commercial. — Tablier pour traite. — Température. — Thermomètre. — Tinettes à beurre. — Traite. — Sa régularité. — Sa perfection. — Sa rapidité. — Sa fréquence. — Traite deux fois par jour. — Traite trois fois par jour. — Ustensiles et fournitures. — Vache. — Vacherie. — Ventilation.

Nous ne saurions trop recommander la lecture de cet ouvrage qui renferme toutes les données nouvelles concernant la pratique de la laiterie et le lait, des aperçus économiques intéressants, et est à la fois précieux pour le praticien et l'homme de science. C'est une œuvre de vulgarisation tout à fait au courant des progrès modernes de l'industrie laitière et dont la lecture est d'autant plus intéressante, qu'on y trouve des documents de valeur sur cette industrie agricole importante relatifs au Canada.

Agricultural Science. — Nous recommandons vivement à l'attention des lecteurs des *Annales « Agricultural science »*, une très intéressante publication, dont M. Charles S. Plumb, professeur d'agriculture à l'Université de Tennessee (États-Unis d'Amérique) et au *State Agricultural and Michanical College,* à Knoxville (Tennessee) est le rédacteur en chef et l'éditeur. Cette publication est dans sa troisième année d'existence : fondée en 1887, elle a pour but d'encourager la science économique dans ses rapports avec l'agriculture, de propager les résultats des recherches faites au laboratoire et sur le champ, de publier des extraits de la plupart des journaux étrangers les plus récents qui traitent de la science agricole et de réunir et de résumer toutes les contributions nouvelles en matière de science agricole, d'expérience et de recherches.

La division par ordre de matières, adoptée par M. C. S. Plumb me semble aussi parfaite que possible. Elle comprend : 1° Mémoires originaux ; 2° Lettres à l'éditeur ; 3° Littérature récente ; 4° Liste des publications reçues ; 5° Extraits des travaux étrangers ; 6° Nouvelles intéressant la science agricole ; et 7° Nouvelles concernant les stations expérimentales de recherches agricoles.

Imprimé en très beaux caractères, avec le plus grand soin, sur papier supérieur, l'*Agricultural Science* paraît tous les mois par fascicules de 24 pages, qui forment un volume par an. Les volumes I et II parus, renferment des documents du plus haut intérêt et la recherche y est facilitée par deux tables de matières par ordre alphabétique (1887 et 1888), nous nous promettons avec la permission de l'éditeur de faire de nombreux emprunts à cette publication pour notre bibliographie.

H. Grandeau.

BULLETIN DU MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE 1888

En vente chez Hachette et Cie, Paris

SOMMAIRE DU N° 1.

France.

Documents officiels.

Promotions et nominations dans l'ordre national de la Légion d'honneur. — Nominations dans l'ordre du Mérite agricole. — Loi du 25 novembre 1887, prorogeant l'augmentation provisoire des droits d'entrée sur les alcools étrangers. — Loi du 1er décembre 1887, tendant à exonérer de l'impôt foncier les terrains nouvellement plantés en vignes dans les départements ravagés par le phylloxera. — Décret du 26 décembre 1887, portant suppression des inspecteurs généraux des forêts. — Loi du 4 février 1888, concernant la répression des fraudes dans le commerce des engrais. — Décret du 9 janvier 1888, modifiant les conditions du mode de recrutement de l'École forestière de Nancy. — Décret du 14 janvier 1888, portant réorganisation du personnel central du Ministère de l'agriculture. — Décret du 14 janvier 1888, relatif à la direction des forêts, au recrutement et à l'avancement (transformation de l'École des Barres). — Arrêté du 15 janvier 1888, portant règlement d'administration publique pour l'École pratique de sylviculture des Barres. — Décrets et arrêtés divers pris par application du décret du 14 janvier 1888, portant organisation du personnel central du ministère de l'agriculture. — Arrêté du 16 décembre 1887, portant organisation de l'École pratique d'agriculture d'Aumale.

Divers.

Culture de la ramie. — 1° Rapport sur les moyens d'encourager la culture de la ramie, par M. Tisserand, conseiller d'État, directeur de l'agriculture. — 2° Rapport sur la production et la culture de la ramie, par M. A. Favier. — Rapport sur une mission viticole aux États-Unis par M. P. Viala, professeur de viticulture à l'École nationale d'agriculture de Montpellier. — Rapport sur les travaux exécutés en 1887 au laboratoire d'enseignement supérieur de la villa Thuret, à Antibes, par M. Ch. Naudin, membre de l'Institut, directeur du laboratoire. — Enquête faite par le ministère des travaux publics sur la production des phosphates de chaux en France, en 1886. — Production séricicole de la France en 1887, par M. E. Maillot, directeur de la station séricicole de Montpellier. — Note sur l'insecte *Ephestia Kuehniella,* qui attaque la farine, par M. P. Brocchi, maître de conférences à l'Institut national agronomique.

Étranger.

Royaume-Uni. — Rapport sur la situation de l'Irlande en 1887, par M. Bœufvé, gérant du consulat de France à Dublin. — Rapport sur la production agricole

de Jersey, en 1887, par M. Féret, consul de France en cette île. — Allemagne. — Note sur la culture du tabac en 1887, par M. E. Cor, consul de France à Mannheim. — Note sur l'état des fabriques d'engrais à base de guano de Hambourg et de Harbourg, par M. Balny d'Avricourt, consul général de France à Hambourg. — Grèce. — Note sur la récolte des vins dans les Cyclades, par M. Carteron, consul de France, à Syra. — Bosnie. — Rapport sur la récolte et le commerce des prunes en Bosnie, en 1887, par M. L. Auzépy, consul de France à Bosna-Séraï. — Pérou. — Note sur la culture de la coca, par M. de Pina, ministre de France à Lima. — États-Unis. — Rapport sur la condition du marché de viandes de bœuf à Chicago, par M. de Surrel, consul de France dans cette ville. — Informations diverses.

SOMMAIRE DU N° 2.

France.

Documents officiels.

Budget de 1888. — Nomination du ministre de l'agriculture. Promotions et nominations dans l'ordre du Mérite agricole. — Mutations dans le personnel du Ministère de l'agriculture. — Arrêté du 18 février 1888 concernant les allocations et les traitements du personnel des écoles pratiques d'agriculture. — Rapports sur les travaux administratifs entrepris contre le phylloxera et sur la situation des vignobles en France et en Algérie, pendant l'année 1887, par M. Tisserand, conseiller d'État, directeur de l'agriculture.

Divers.

Note sur la culture de l'orge, par M. Tisserand, conseiller d'État, directeur de l'agriculture. — Culture de la ramie. — Historique des travaux de l'administration des colonies, par M. Goldscheider, conservateur de l'exposition permanente des colonies. — Rapport sur les démonstrations et expériences faites dans le département de l'Aude en 1886-1887, par Marcel Dupont, professeur d'agriculture du département. — Rapport au sujet des expériences sur la chlorose de la vigne, par M. Tord, professeur départemental d'agriculture de la Charente-Inférieure. — Rapport sur les conférences de pisciculture maritime et d'ostréiculture faites au Havre en 1887, par le docteur Brocchi. — Rapport sur la race jaune tachetée (*Fleckvieh*), dite *race bovine simmenthaloise,* canton de Berne (3e concours fédéral agricole suisse tenu à Neuchâtel du 11 au 18 septembre 1887), par M. Chabot-Karlen, membre de la société nationale d'agriculture. — Rapport sur l'agriculture suisse à l'exposition fédérale d'agriculture de Neuchâtel, par M. de Ribeaucourt, président de la société romande d'apiculture.

Étranger.

Allemagne. — Notes extraites de documents officiels sur le développement du doryphora en Allemagne. — Note sur la récolte des vins en Allemagne en 1887,

par M. d'Héricourt, consul de France à Stuttgart. — Rapport sur la récolte du houblon en Allemagne en 1887, par M. d'Héricourt, consul de France à Stuttgart. — Rapport sur la culture rationnelle du lin en Silésie, par M. Monin, gérant du consulat de France à Breslau. — Note relative à l'utilisation des résidus desséchés des brasseries, par M. Balny d'Avricourt, consul général de France à Hambourg. — Rapport sur l'ouverture de la bourse des cafés et l'adoption du système des marchés à terme, par M. Balny d'Avricourt, consul général de France à Hambourg. — Note sur les réunions territoriales dans le grand-duché de Bade. Autriche-Hongrie. — Rapport sur la récolte des céréales en Hongrie en 1887, par M. Henri Belle, consul général de France à Budapest. — Italie. — Rapport sur les vendanges et le commerce des vins en Italie, par M. de Laigue, consul de France à Florence. — Russie. — Rapport sur la situation de l'industrie agricole en Russie, par M. A. Melon, gérant du consulat général de France à Varsovie. — Renseignements statistiques (Royaume-Uni, Autriche, Allemagne). — Informations diverses.

SOMMAIRE DU N° 3.

France.

Documents officiels.

Nominations dans la Légion d'honneur. — Promotions et nominations dans l'ordre du Mérite agricole. — Mutations dans le personnel du Ministère de l'agriculture. — Loi du 13 avril 1888 portant modification des articles 105 et 108 du Code du commerce. — Loi du 30 mai 1888 ayant pour objet de proroger les lois des 5 juillet, 23 novembre 1887 et 26 février 1888 relatives au régime douanier des alcools étrangers. — Décret du 2 mai 1888 relatif à l'exemption temporaire d'impôt foncier de certaines catégories de terrains phylloxérés. — Décret du 26 mai 1888 portant règlement d'administration publique relativement à l'entrée en France des viandes fraîches importées de l'étranger. — Décret du 26 mai 1888 déterminant les bureaux de douane ouverts à l'importation des viandes fraîches et fixant le droit d'inspection. — Arrêté du 28 février 1888 concernant un concours universel d'animaux reproducteurs en 1889. — Arrêté du 18 avril 1888 instituant un cours agricole d'adultes au collège de Civray (Vienne). — Commission de l'enseignement agricole dans les établissements scolaires. — Comptes rendus des séances avec documents annexes. — Conseil de perfectionnement des écoles vétérinaires. — Comptes rendus des séances.

Divers.

Rapport sur les travaux de la station de chimie végétale de Meudon, par M. Berthelot, membre de l'Institut. — Note sur les falsifications des huiles d'olive, par M. R. Brullé. — Compte rendu de la foire aux jambons tenue à Paris en 1888. — Note relative à la culture du cerisier sur les terrains calcaires, par M. d'Arbois de Jubainville, conservateur des forêts.

Étranger.

Italie. — Rapport sur la production italienne des beurres, de la margarine, etc., par M. Charpentier, consul de France à Milan. — Tunisie. — Analyse des terres de la Tunisie, par M. Gastine, délégué régional du phylloxera. — Mexique — Rapport sur une plante du Yucatan, le *Henquen,* par M. Sempé, consul de France à Vera-Cruz. — Informations diverses.

SOMMAIRE du N° 4.

France.

Documents officiels.

Promotions et nominations dans l'ordre de la Légion d'honneur. — Promotions et nominations dans l'ordre du Mérite agricole. — Médailles d'honneur aux préposés forestiers. — Mutations dans le personnel du Ministère de l'agriculture. — Unification du service ordinaire et du service du reboisement des forêts. — Loi du 23 juin 1888 portant ouverture de crédits extraordinaires en vue de la participation des divers départements ministériels à l'Exposition universelle de 1889. — Arrêté du 8 juin 1888 nommant les membres du comité d'organisation du congrès international d'agriculture de 1889. — Arrêté du 19 juin 1888 instituant dans le Puy-de-Dôme une école pratique d'agriculture pastorale et de laiterie, dite école pratique de Pontgibaud. — Arrêté du 19 juin 1888 instituant dans le Doubs un service spécial de recherches, d'études et d'enseignement sur les questions intéressant la production du lait et la fabrication du beurre et du fromage.

Divers.

Rapport sur les recherches exécutées à la station agricole de Boulogne-sur-Mer en 1887, par M. le docteur H. E. Sauvage, directeur de la station. — Analyse chimique des vins rouges de la Gironde (récolte de 1887), par M. Gayon, professeur à la Faculté des sciences, directeur de la station agronomique de Bordeaux, avec la collaboration de MM. Ch. Blarez, professeur à la Faculté de médecine de la même ville, et E. Dubourg, pharmacien de 1re classe. — Rapport sur les moyens de combattre les ravages du sylphe opaque, par H. Grosjean, inspecteur de l'enseignement agricole.

Étranger.

Allemagne. — Rapport sur les superficies consacrées à l'agriculture et sur la récolte en 1885, comparativement au passé, dans le grand-duché de Bade, par M. E. Cor, consul de France à Mannheim. — Note sur les distilleries de Silésie, par M. Delsart, consul chargé du vice-consulat de France à Breslau. — Note sur les fabriques de sucre de la Prusse occidentale, par M. Closel, consul de

France à Dantzig. — Rapport sur les récoltes et l'élevage des bestiaux en 1887 dans le royaume de Wurtemberg, par M. le comte d'Héricourt, consul de France à Stuttgart. — Rapport sur l'agriculture silésienne en 1887, par M. Delsart, consul chargé du vice-consulat de France à Breslau. — Portugal. — Rapport sur le congrès agricole de Lisbonne, par M. Billot, ministre de la République française à Lisbonne. — Espagne. — Note sur l'industrie des vers à soie à Carthagène, par M. P. Martin, consul de France à Carthagène. — Russie. — Rapport relatif aux divers projets d'amélioration de la situation agricole en Russie, par M. A. Melon, gérant du consulat général de France à Varsovie. — Turquie. — Extrait d'un rapport sur l'agriculture du vilayet de Janina, par M. Podhayski, consul chargé du vice-consulat de France à Janina. — Ile de Chypre. — Extrait d'un rapport sur la situation vinicole, par M. Saint-Victor de Castillon, consul de France à Larnaca (*à suivre*). — Ile Maurice. — Note sur la culture de la vigne, par M. A. Drouin, consul de France à Port-Louis. — Pérou. — Rapport sur l'état de l'agriculture par M. Pina, ministre de la république à Lima. — République argentine. — Loi du 15 novembre 1887 relative à l'institution de primes à l'exportation des bestiaux sur pied et des viandes de bœuf conservées, et décret intervenu pour son application. — Australie. — Rapport sur la production et l'emploi de l'écorce à tan du *wattle,* par M. Maistre, gérant du consulat de France à Melbourne. — Informations diverses.

SOMMAIRE DU N° 5.

France.

Documents officiels.

Mutations dans le personnel du Ministère de l'agriculture. — Loi du 24 juillet 1888, ayant pour objet d'ouvrir au Ministère du commerce et de l'industrie, sur l'exercice 1888, un crédit extraordinaire de 70,000 fr. pour frais d'inspection des viandes à la frontière. — Loi du 24 juillet 1888, sur le régime des sucres. — Loi du 18 juillet 1888, ouvrant au Ministère de l'intérieur un crédit de 500,000 fr. pour combattre l'invasion des sauterelles. — Loi du 6 août 1888, tendant à inscrire au budget du Ministère de l'instruction publique un crédit de 700,000 fr. pour la construction et l'aménagement de l'Institut agronomique. — Décret du 28 juillet 1888, ajoutant de nouvelles maladies à la nomenclature des maladies des animaux qui sont réputées contagieuses. — Arrêté du 28 juillet 1888, intervenu par application du décret ci-dessus.

Divers.

Les grands concours agricoles en 1888. — Rapport sur la gestion de l'administration des haras en 1887, par M. de Cormette, directeur des haras. — Recherches sur le rouge des feuilles du pin sylvestre et sur le traitement à lui appliquer. (Notes de M. Bartet, inspecteur adjoint des forêts, attaché à la station d'expériences de l'École forestière, et Vuillemin, agrégé à la Faculté de médecine de Nancy.) — Recherches sur la formation du bois parfait, par M. Emile

Mer, garde général des forêts. — Deuxième mémoire sur l'influence des éclaircies, par M. Bartet, inspecteur adjoint des forêts. — Destruction des vers blancs avec le pal injecteur et la benzine, par M. L. Croizette des Noyers, inspecteur adjoint des forêts. — Rapport au conseil d'hygiène publique de la Seine sur l'introduction de la saccharine dans les substances alimentaires, par M. Dujardin-Beaumetz.

Étranger.

Angleterre. — Rapport sur l'exposition de la société d'agriculture *Bath and West of England,* à Newport, en 1888, par M. Clamageran, vice-consul de France à Newport (Monm.). — Ile de Chypre. — Extrait d'un rapport sur la situation vinicole dans l'île de Chypre, par M. Saint-Victor de Castillon, consul général de France à Larnaca (*suite et fin*). — Informations diverses.

SOMMAIRE DU N° 6.

FRANCE.

Documents officiels.

Nominations dans l'ordre national de la Légion d'honneur. — Promotions et nominations dans l'ordre du Mérite agricole. — Mutations dans le personnel du Ministère de l'agriculture. — Décret du 8 mai 1888 portant règlement d'administration publique et relatif à la répression des fraudes commises dans la vente des beurres. — Circulaire du 30 août 1888 relative aux mesures à prendre pour l'exécution du décret du 28 juillet 1888 (police sanitaire des animaux). — Arrêté du 24 août 1888 concernant la création d'un laboratoire de pathologie végétale à l'Institut national agronomique.

Divers.

Rapport sur le traitement expérimental du *black-rot,* fait à Aiguillon en 1888, par M. Prillieux, inspecteur général de l'enseignement agricole. — Extrait du compte rendu des cultures entreprises en 1886-1887, sur les champs d'expériences et de démonstrations de la Côte-d'Or, par M. Magnien, professeur départemental d'agriculture. — Extrait d'un rapport préseuté au ministre de la marine et des colonies, au nom du comité consultatif des pêches maritimes, sur les mœurs du saumon, par M. Amédée Berthoule (*à suivre*). — Statistique officielle de la production, du commerce et de la consommation du sucre en France et dans ses colonies. — État des loups tués en 1887 et des primes payées.

Étranger.

Production, commerce et consommation du sucre dans le monde et dans les principaux pays étrangers (Royaume-Uni, Canada, Australie, Pays-Bas, Belgique, Italie, Russie, Suède, Norvège, Danemark, États-Unis). — Exposé de la superficie de la culture cotonnière en 1888, par M. A. Boinet-Bey, délégué financier

du Gouvernement égyptien. — Rapport sur la production et le commerce du thé en Chine, par M. Frandin, consul de France, chargé du vice-consulat à Fou-Tchéou. — Informations diverses.

SOMMAIRE DU N° 7.

France.

Documents statistiques.

Tableaux des récoltes de la France pour l'année 1887. — I. Céréales : A. Relevés par département (froment, méteil, seigle, orge, sarrasin, avoine, maïs et millet. B. Relevés par région (froment, seigle). — II. Récoltes diverses : 1° Tubercules et racines. 2° Fourrages. 3° Cultures industrielles. 4° Vignes. 5° Culture fruitière. — III. Production séricicole en 1887. — IV. Production moyenne, par département, des principales céréales durant la période décennale de 1878 à 1887. — V. Production en céréales et en pommes de terre pour la France entière pendant les dix dernières années, de 1878 à 1887. — VI. Production du cidre en 1886 et 1887.

Divers (poids et prix).

VII. Poids moyen, par département, de l'hectolitre des principales céréales en 1887. — VIII. Prix moyen du kilogramme de pain et du kilogramme de viande dans les chefs-lieux de département en 1887. — IX. Prix moyen, par département, des céréales, denrées alimentaires, fourrages, combustibles, etc., en 1887. — X. Prix moyen annuel pour la France entière, et pendant la dernière période de vingt ans, des céréales, des denrées alimentaires, des fourrages, etc. (1868-1887).

Animaux de la ferme.

XI. Animaux de ferme et leurs produits : 1° Existences au 31 décembre 1887 (espèces chevaline, mulassière, asine, bovine, ovine, porcine et caprine). 2° Principaux produits en 1887 (lait, miel et cire).

Importations et exportations.

XII. Importations et exportations des matières et produits intéressant l'agriculture en 1885, 1886 et 1887. — XIII. Importations du bétail en 1887 (relevé du service sanitaire à la frontière).

Approvisionnement de Paris.

XIV. Relevé, par quinzaine, des opérations de la boulangerie et des dépôts de pain de Paris en 1887. — XV. Opérations du marché aux bestiaux de la Villette en 1885, 1886 et 1887. — XVI. Consommation de la viande à Paris et de la viande de cheval dans le département de la Seine en 1887. — XVII. Vente aux

Halles centrales et sur les marchés de gros de Paris des viandes et autres denrées alimentaires en 1887.

Annexe.

Tableau récapitulatif concernant la taxe du pain en France au 1er octobre 1888.

SOMMAIRE DU N° 8.

France.

Documents officiels.

Promotions et nominations dans l'ordre national de la Légion d'honneur. — Promotions et nominations dans l'ordre du Mérite agricole. — Mutations dans le personnel du Ministère de l'agriculture. — Loi du 2 octobre 1888 autorisant le Ministère des finances à affecter au paiement immédiat du prix des terrains maintenus dans les anciens périmètres de reboisement (loi du 6 avril 1882), une avance de 11,500,000 fr.

Divers.

Extrait d'un rapport présenté au ministre de la marine et des colonies, au nom du comité consultatif des pêches maritimes, sur les mœurs du saumon, par M. Amédée Berthoule (*suite et fin*). — Concours de machines à décortiquer la ramie : 1° Procès-verbaux du jury. 2° Rapport d'ensemble par M. Imbs, professeur au Conservatoire des arts et métiers. — Rapport sur les arbres producteurs du caoutchouc et de la gutta-percha, par M. Ch. Naudin, membre de l'Institut, directeur du laboratoire de la villa Thuret, à Antibes. — La restauration des montagnes, par M. Bénardeau, inspecteur des forêts. — Rapport sur l'état actuel de la pisciculture dans la Seine-Inférieure, par M. le Dr Brocchi, maître de conférences à l'Institut national agronomique. — Rapport sur les expériences comparatives de l'emploi du nitrate de soude et du sulfate d'ammoniaque, par M. Ch. Rolland, sous-directeur de l'école pratique d'agriculture de Saint-Bon (Haute-Marne). — Rapport sur la propagation artificielle de l'alose, par M. Pierre Vincent. — Note sur la culture des pommes de terre à l'école pratique d'agriculture de Tomblaine (Meurthe-et-Moselle).

Étranger.

Allemagne. — La réunion des parcelles territoriales dans l'Eifel. [Province du Rhin]. (Extrait du *Moniteur de Dusseldorf.*) — Hongrie. — Renseignements sur le commerce des porcs en Hongrie, en 1887, par M. Delabarre, consul général de France à Buda-Pesth. — Récolte en 1887. — Italie. — Loi du 12 juillet 1888 modifiant les droits de douane. — Rapport sur l'élevage des vers à soie et la production séricicole du Piémont, en 1888, par M. Soupat, gérant du consulat de France à Turin. — Russie. — Avis du conseil de l'empire autorisant la Banque de l'État à faire des avances sur garantie de dépôts de blé. — Grèce.

— Rapport sur la récolte des raisins de Corinthe, par M. Gaspary, vice-consul de France à Patras. — Turquie. — Rapport sur la production des cocons et soies filées pour l'année 1887-1888; par M. Paul Taillet, vice-consul de France à Brousse. — Rapport sur le commerce des raisins secs et des figues dans la province d'Aïden, par M. Rougon, consul général de France à Smyrne. — Roumanie. — Commerce des vins (communication du ministère des affaires étrangères roumain). — Madagascar. — Tableau des cultures de Sainte-Marie de Madagascar (communication du sous-secrétariat d'État des colonies). — Indes anglaises. — Rapport sur le parti à tirer pour le tannage du *divi-divi,* par M. Gosselin, consul de France à Bombay. — Informations diverses. — Table alphabétique des noms d'auteurs pour 1888. — Table alphabétique et analytique des matières pour 1888.

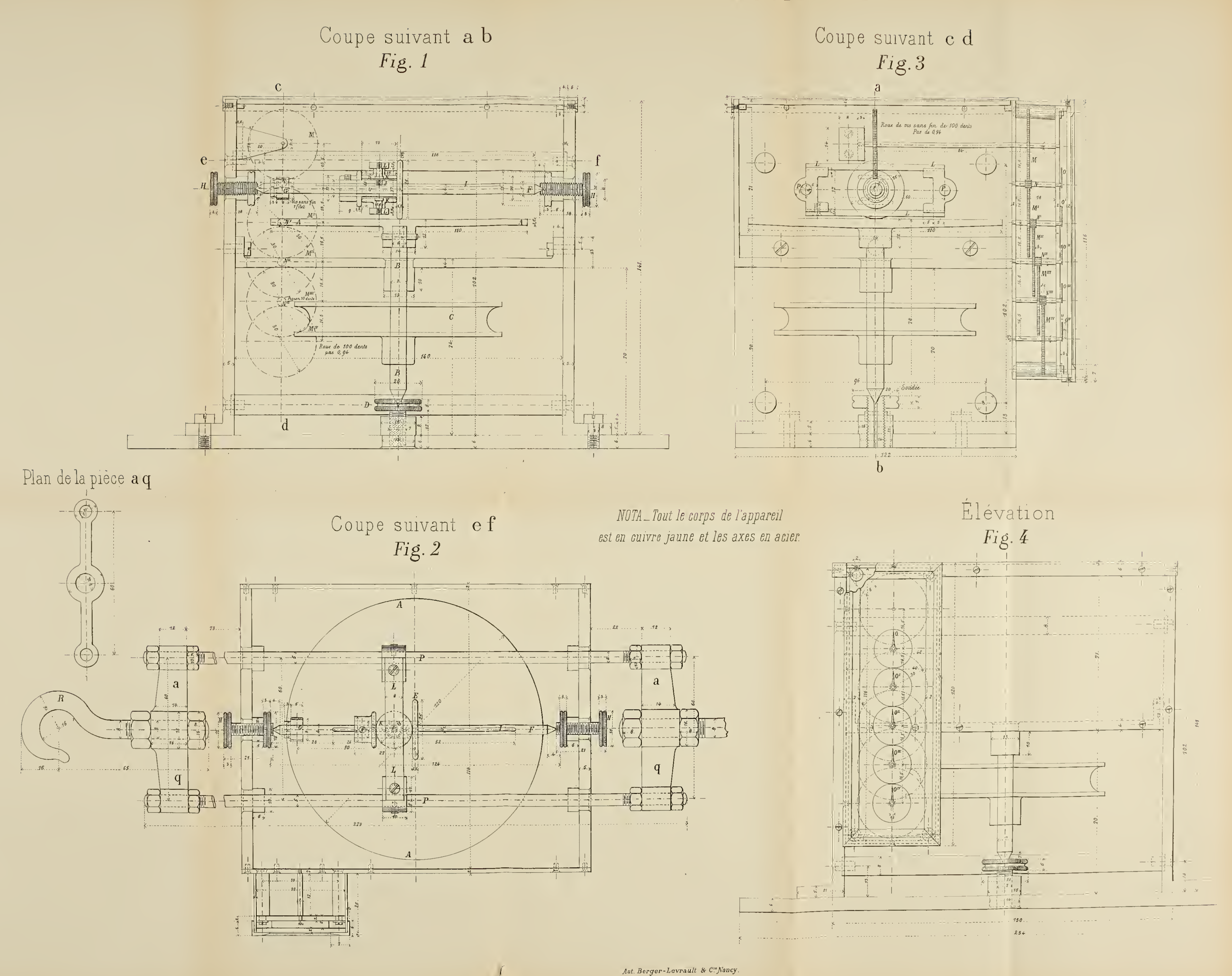
H. G.



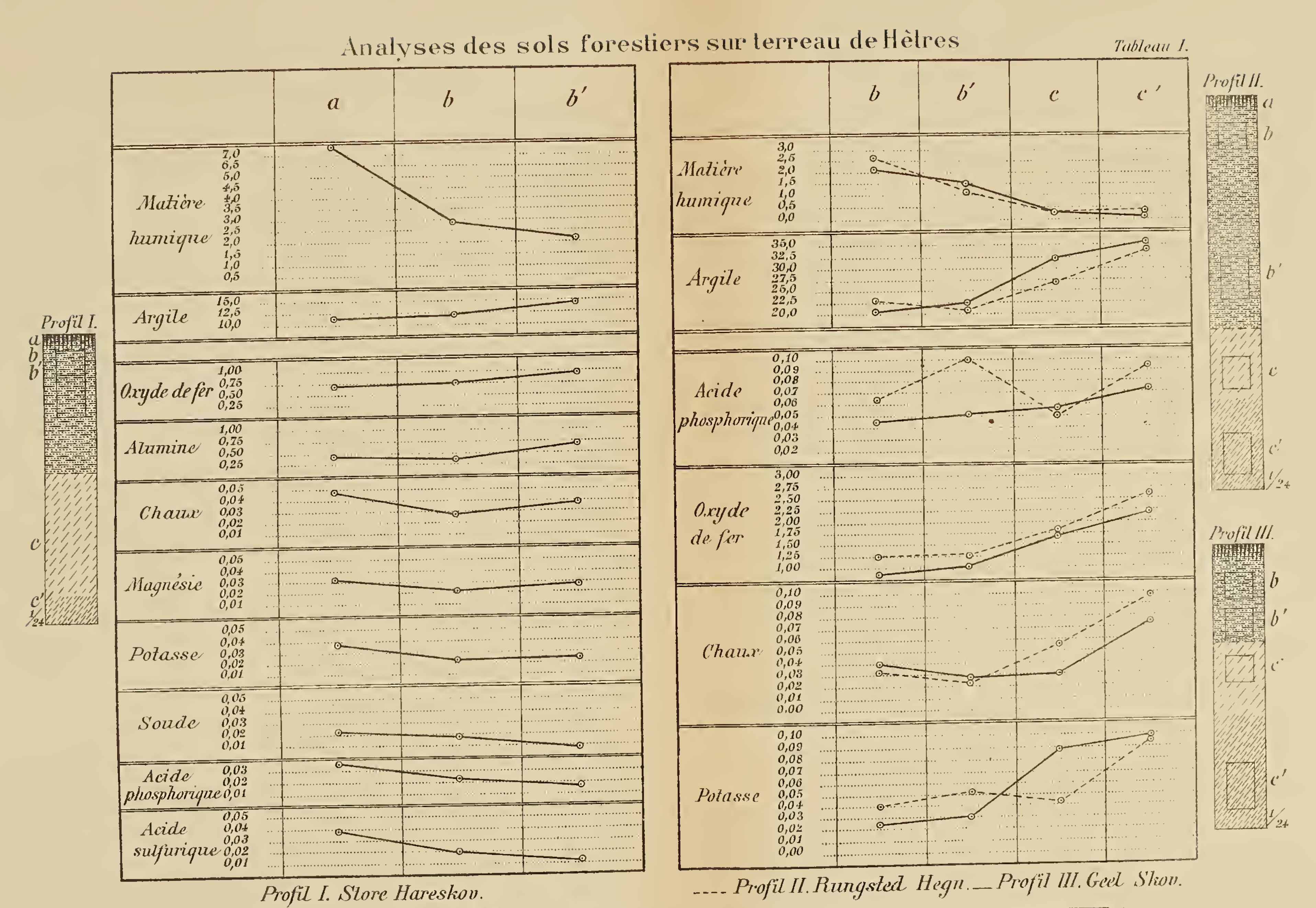
TABLE DES MATIÈRES

DU TOME PREMIER (1889)

Nancy, impr. Berger-Levrault et Cie.


COMPTEUR TOTALISATEUR
Coupe suivant a b
Fig. 1
Coupe suivant c d
Fig. 3
Roue de vis sans fin de 100 dents
Pas de 0,94
Roue de 100 dents
pas 0,94
Soudée
Plan de la pièce a q
Coupe suivant e f
Fig. 2
NOTA_Tout le corps de l'appareil
est en cuivre jaune et les axes en acier.
Élévation
Fig. 4
Aut. Berger-Levrault & Cie Nancy.





Analyses des sols forestiers sur terreau de Hêtres
Tableau I.
a
b
b'
c
c'
Matière humique
Argile
Oxyde de fer
Alumine
Chaux
Magnésie
Potasse
Soude
Acide phosphorique
Acide sulfurique
Profil I.
Profil II.
Profil III.
Profil I. Store Hareskov.
---- Profil II. Rungsted Hegn. — Profil III. Geel Skov.
a. Terreau. b. Sol. c. Sous-sol.
Terreau
Sable argileux.
Argile sableuse gris-blanc
Argile sableuse.



Analyses de sols forestiers sur tourbe de Hêtres

Tableau II

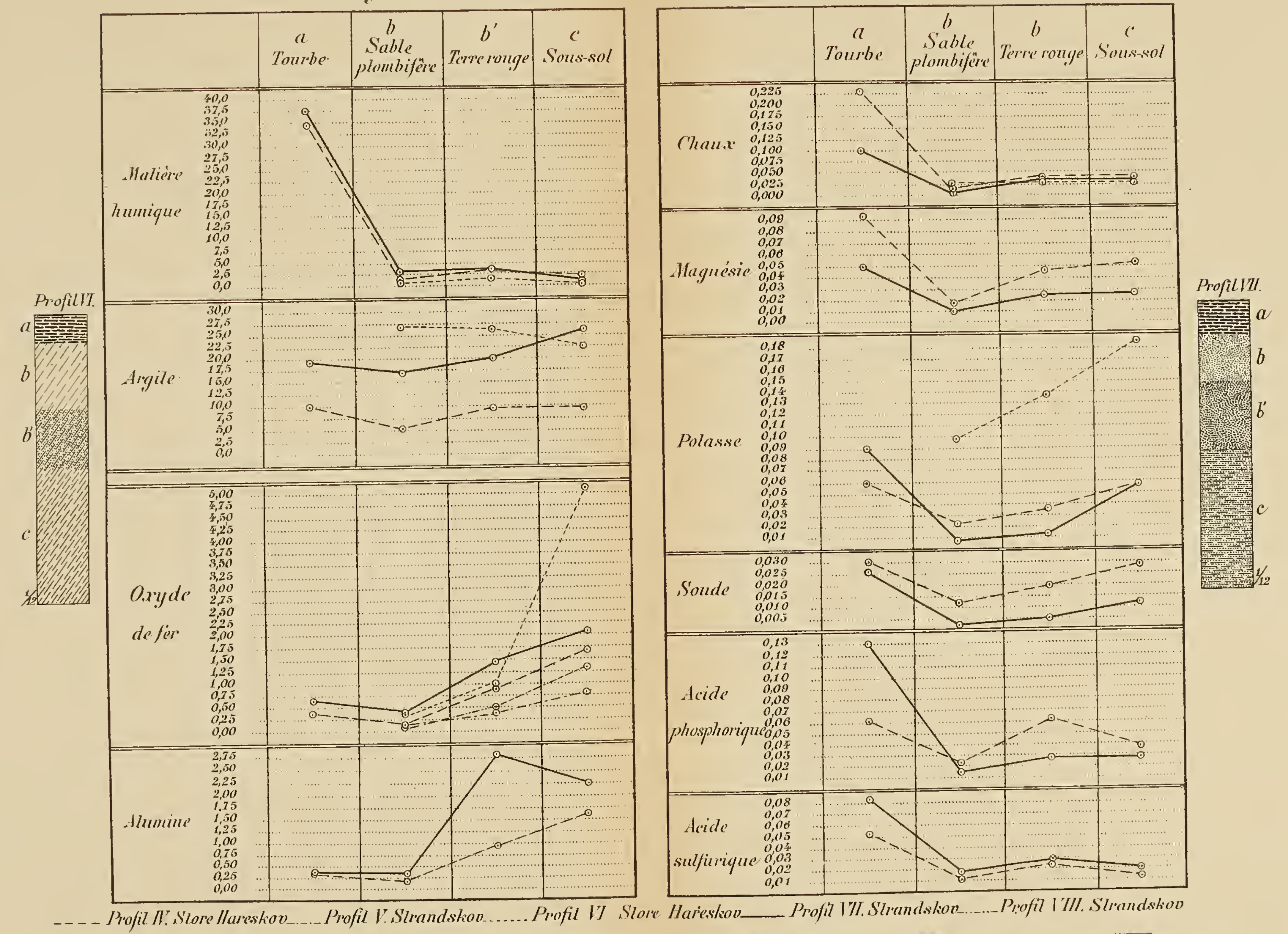
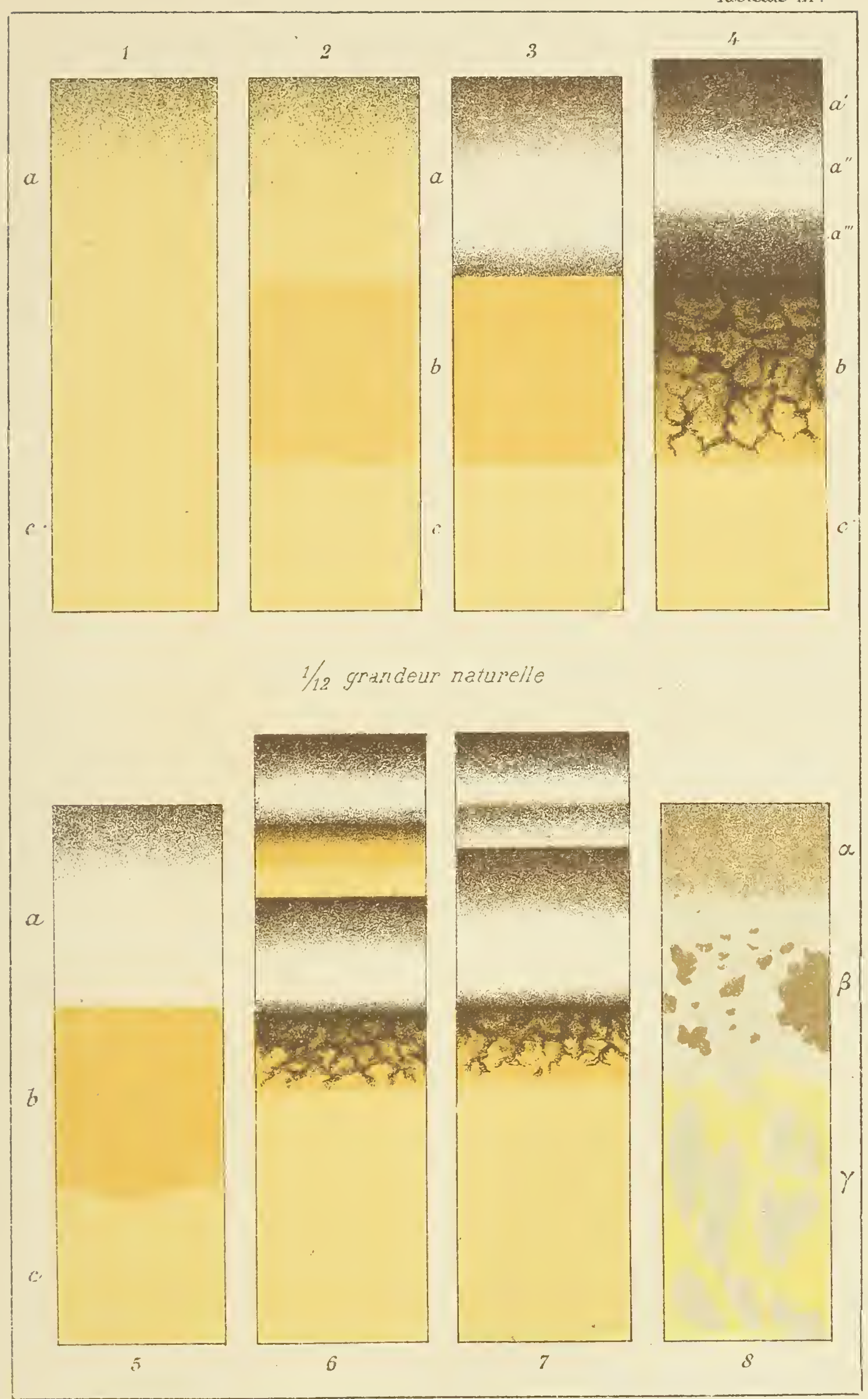


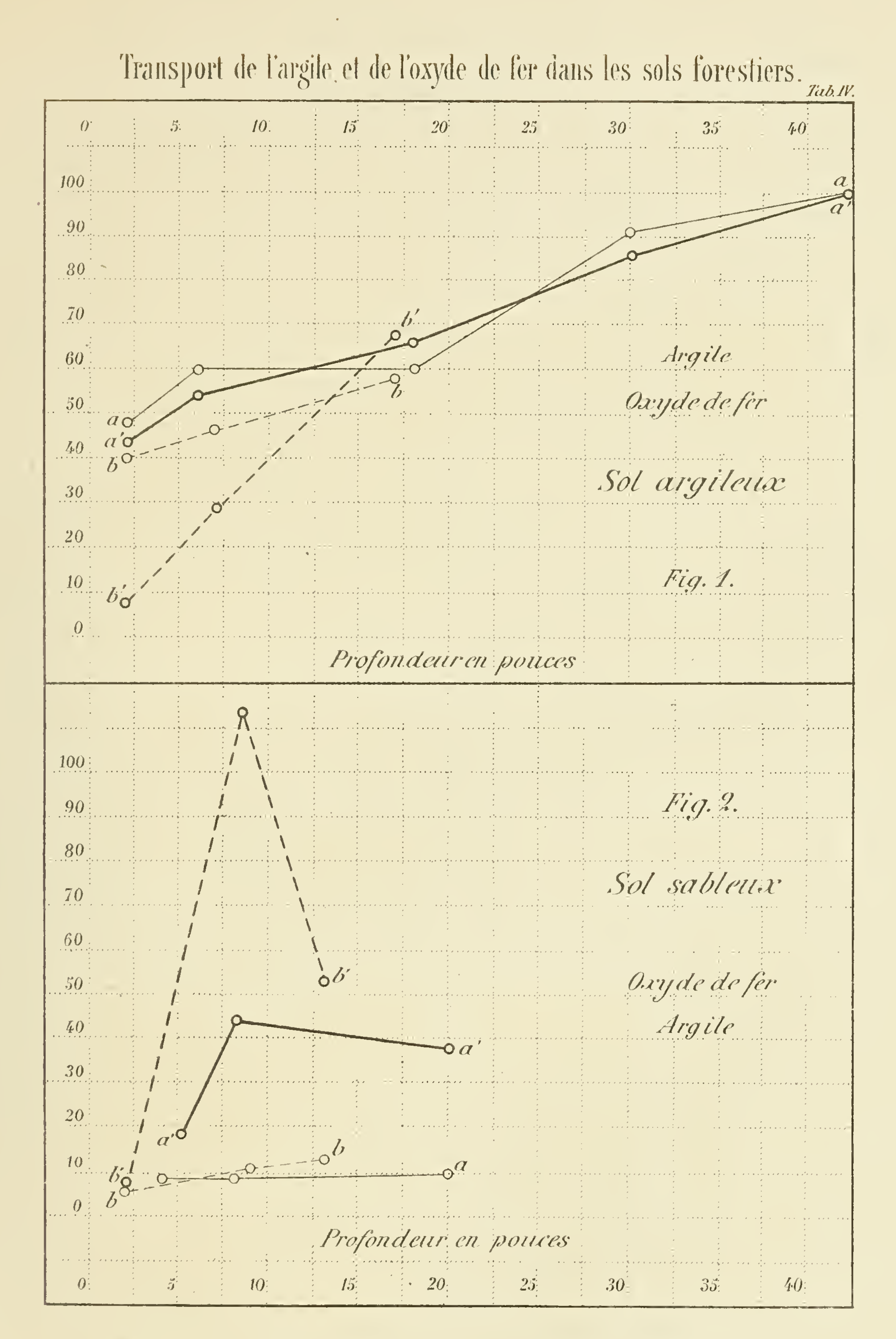


Tableau III.



Lith. Berger-Levrault & Cie Nancy



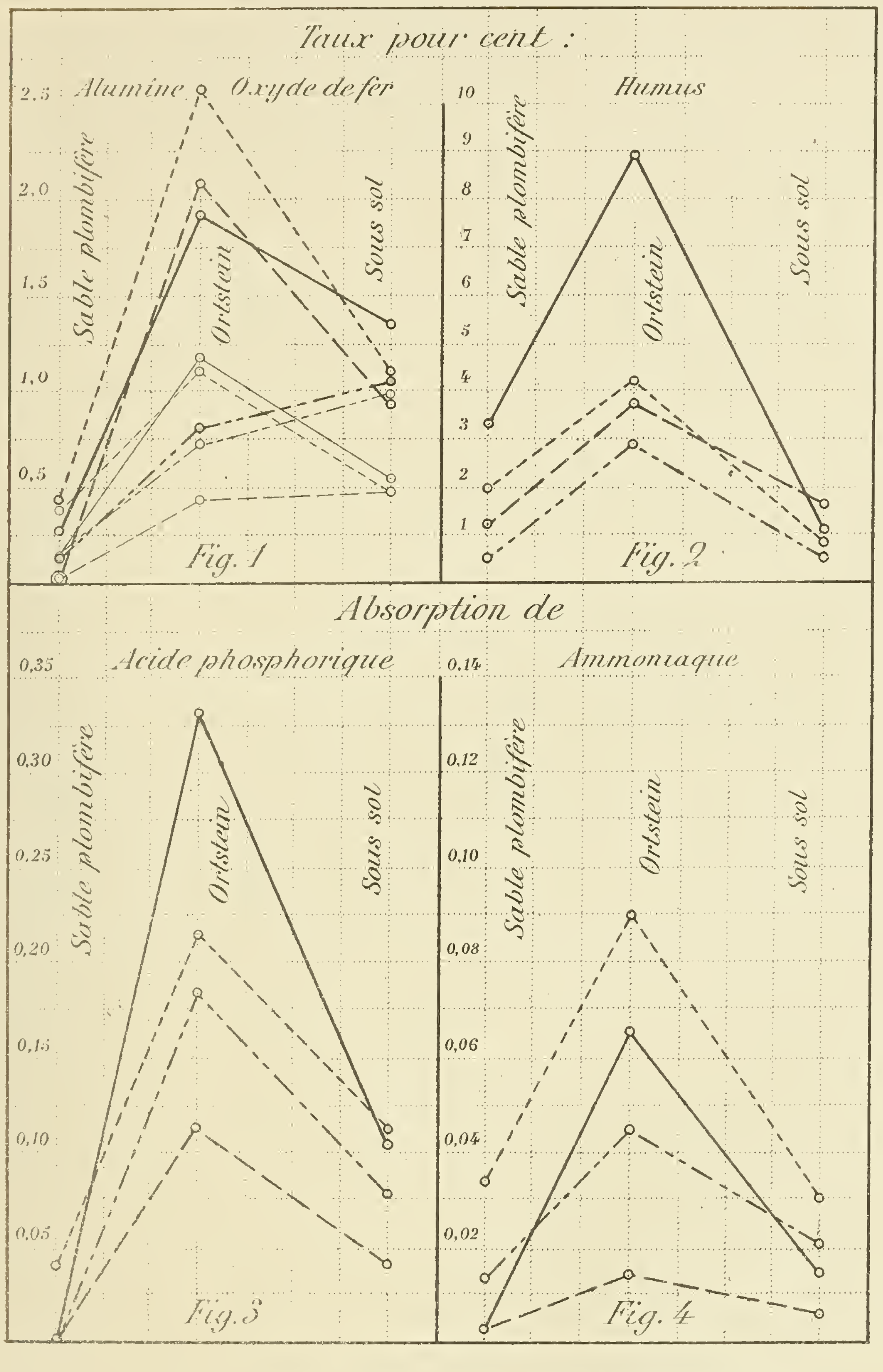


Quantité moyenne d'argile et d'oxyde de fer à différentes profondeurs.



Le sol recouvert de tourbe.

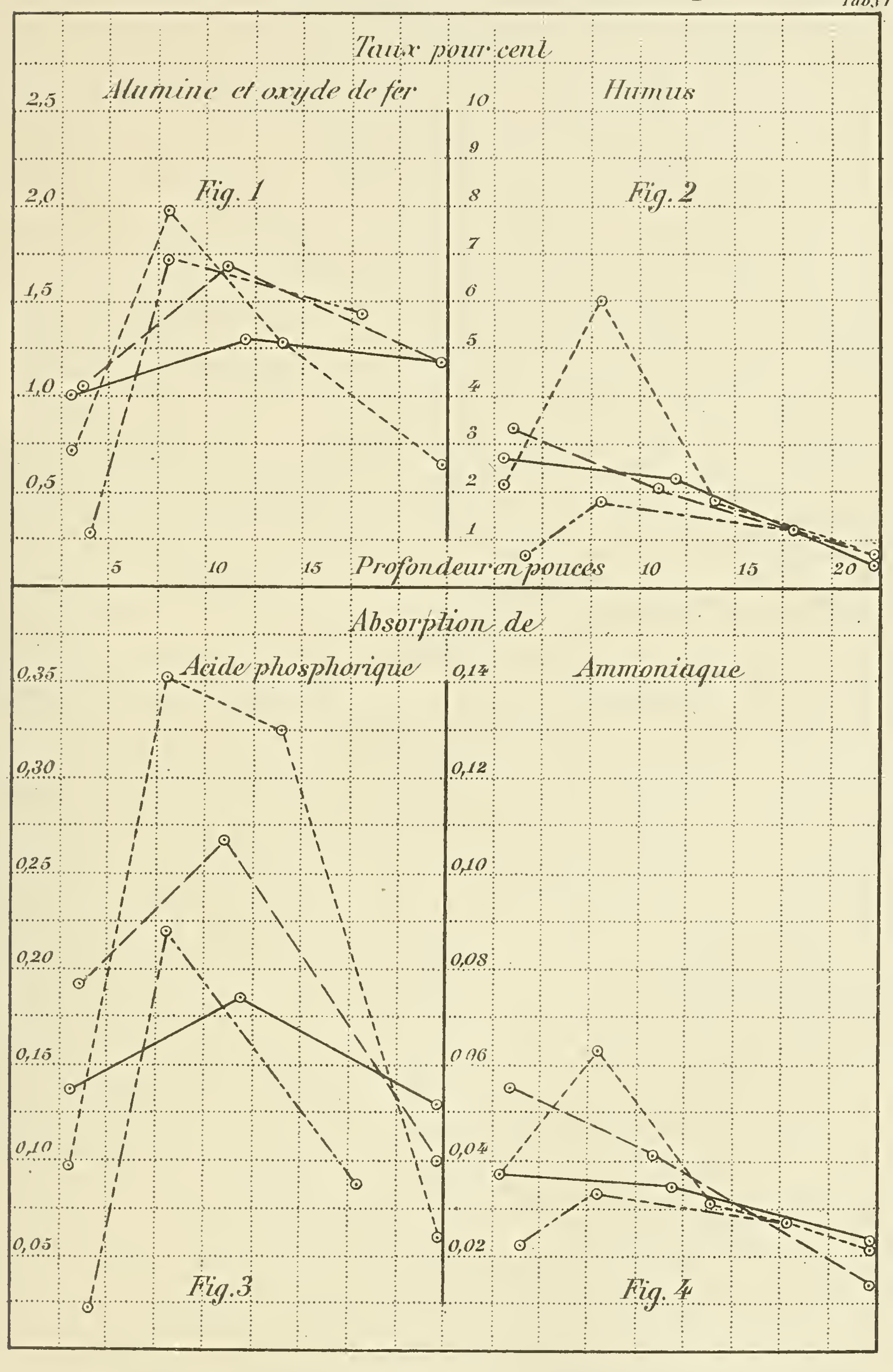
Tabl. V



Lande près Herning
Forêt près Silkeborg
Strandskov
Sölleröd Kirkeskov



Le sol dans les boqueteaux de chênes et la lande près Viborg. Tab. VI



——— Bon terreau.

— — — — Jeune lande.

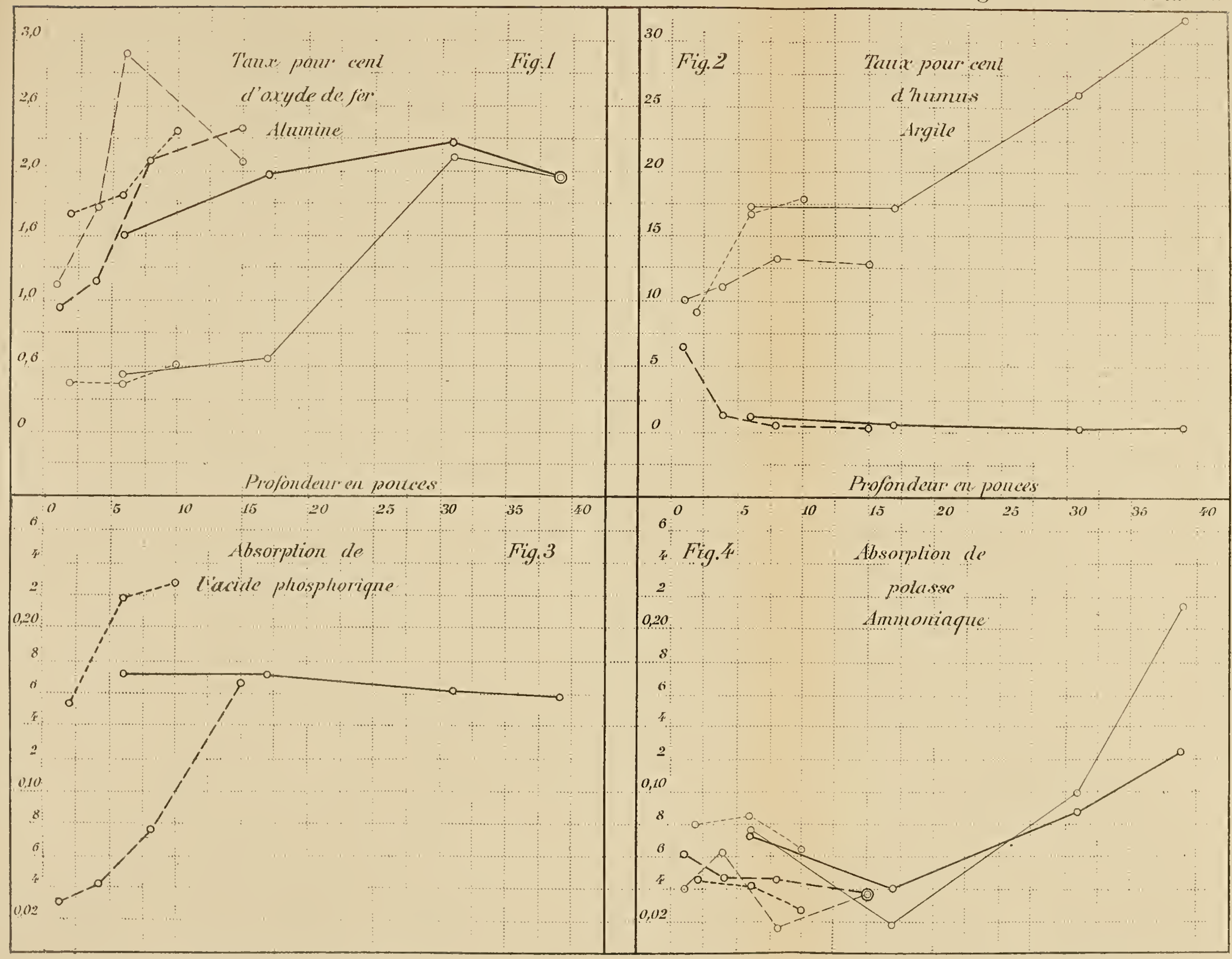
— - - — - - Sable plombifère avec terreau.

- - - - - - - Vieille lande.



Pouvoir absorbant du sol forestier en forme de terreau et argileux.

Tableau VII



——— Geel-Skov, (Profil XII); - - - - - - - Geel-Skov, (Profil XIII); — — — — Store Hareskov, (Profil XIV);





